



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

ในการศึกษานี้จะแบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูป 3.1 และมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

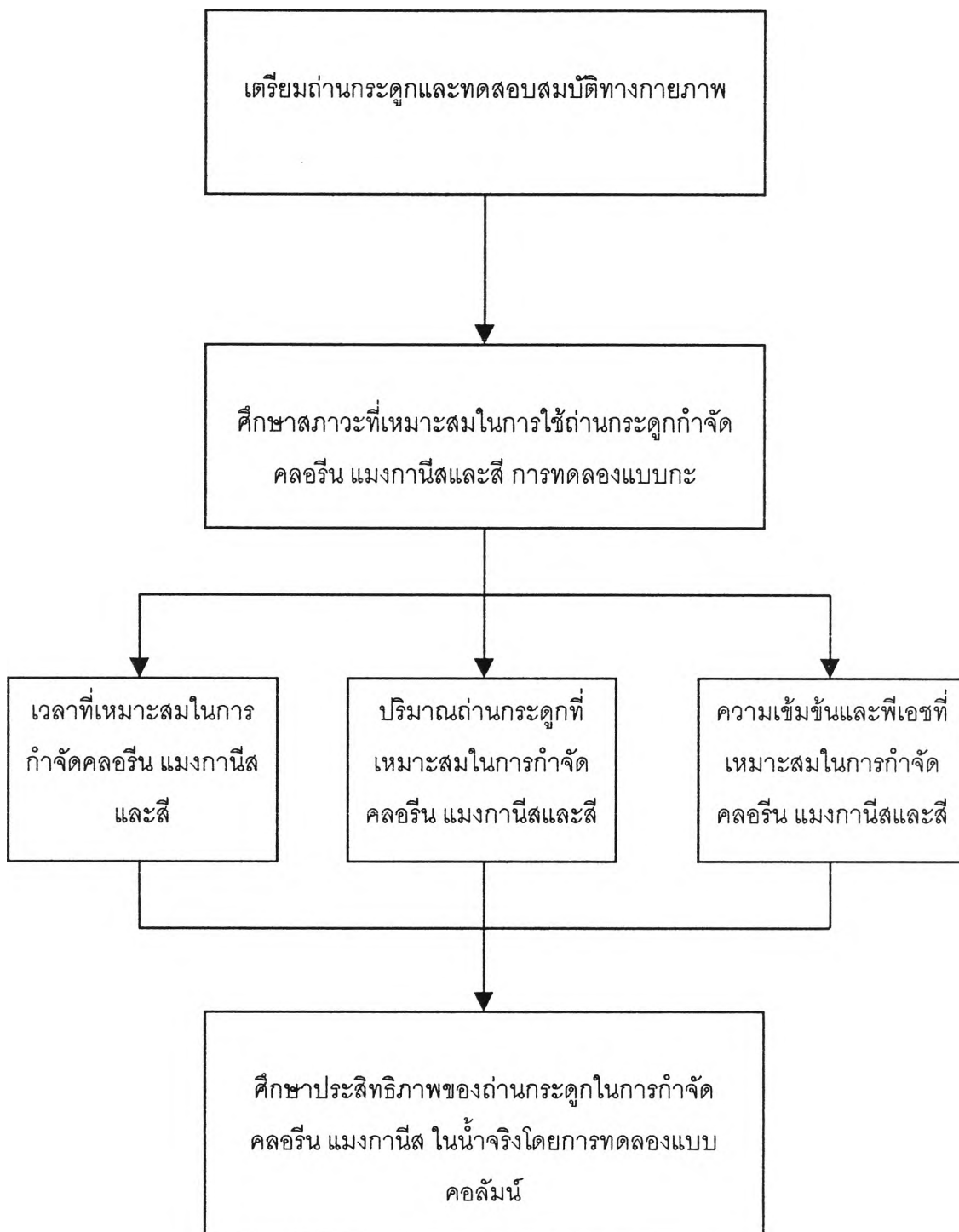
3.1.1 การเตรียมถ่านกระดูกและศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกระดูก

3.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านกระดูกกำจัดคลอรีน แมงกานีส และสีในน้ำสังเคราะห์

3.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกระดูกในการกำจัดคลอรีน แมงกานีสในน้ำจริงโดยการทดลองแบบคอลัมน์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)
- 2) เครื่องวัดแสง (Spectrophotometer)
- 3) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
- 4) เครื่องเขย่า (Shaker)
- 5) เต้าเผาไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้
- 6) ตะแกรงคัดแยกขนาด 4 16 และ 20
- 7) เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด
- 8) อุปกรณ์การกรองสุญญากาศ
- 9) คอลัมน์บรรจุถ่านกระดูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย

3.3 สารเคมีที่ใช้

- 1) สารละลาย NaOCl 10% (เตรียมจากละลายน้ำยาซักผ้าขาวแบบผงที่ขายตามท้องตลาด)
- 2) สารละลายแมงกานีสมาตรฐาน 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3) กรดฮิวมิก
- 4) กรดไฮโดรคลอริก 0.1 N
- 5) กรดไนตริก 0.1 N
- 6) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N
- 7) กรดซัลฟูริก 0.1 N
- 8) สารละลายดีพีดี
- 9) สารละลายบัพเฟอร์
- 10) โคบอลต์สคโลไรด์
- 11) แพลทตินัมคลอไรด์

3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.4.1 การเตรียมถ่านกระดูก

กระดูกโคกระบือที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมถ่านกระดูกได้จากกระดูกโคกระบือที่ผ่านการต้มและอบแห้งเตรียมโดยการเผากระดูกโคกระบือในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แบบไม่ใช้อากาศ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง และคัดขนาดให้ได้ขนาดประมาณ 1-3 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพคือพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรง โดยเครื่อง Specific Area Analyser ด้วยวิธี N_2 -BET (Brunauer -Emmett-Teller) และวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.4.2 การเตรียมน้ำสังเคราะห์

น้ำสังเคราะห์คลอรีนเตรียมจากสารละลาย NaOCl 10% (เตรียมจากละลายน้ำยาซักผ้าขาวแบบผงที่ขายตามท้องตลาด) เจือจางให้ได้ระดับความเข้มข้นคลอรีน 2, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำสังเคราะห์แมงกานีสเตรียมจากสารละลายแมงกานีสมาตรฐาน 1000 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้ระดับความเข้มข้น 2, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำสังเคราะห์สี เตรียมจากละลายกรดฮิวมิกให้ได้ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 300 หน่วยคลอโรแพลทินัม

3.4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองศึกษาการกำจัดสาร 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ คลอรีน แมงกานีส และสี โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสารในน้ำสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด โดยการทำการทดลองแบบกะ

3.4.3.1 ศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน

การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน โดยการเตรียมน้ำคลอรีนสังเคราะห์ ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งถึงจุดสมมูล โดยทำการทดลองดังนี้

- 1) เตรียมน้ำสังเคราะห์คลอรีน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 200 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่
- 2) ปรับค่าพีเอชเป็น 7 โดยใช้ 0.1 N ของกรดซัลฟูริก และ 0.1 N ของโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3) เติมน้ำกระดุกน้ำหนักเท่ากับ 0.5 กรัม
- 4) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C แล้วนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนที่เหลือโดยวิธี DPD

- 6) คำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก (Adsorption capacity of bone charcoal:q) ดังสมการที่ 3.1 และคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีน ดังสมการที่ 3.2

$$q = (C_0 - C_e) v/m \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\% \text{ Chlorine removal} = (C_0 - C_e) \times 100 / C_0 \dots \dots \dots (3.2)$$

q = ความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก (mg/g)

C₀ = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคลอรีน (mg/L)

C_e = ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายคลอรีน (mg/L)

v = ปริมาณของสารละลาย (L)

m = น้ำหนักของถ่านกระดูก (g)

3.4.3.2 ศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีส

การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีส โดยการเตรียมน้ำแมงกานีสสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วเติมถ่านกระดูกน้ำหนัก 1 กรัม เขย่าที่ 125 รอบต่อนาทีและเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งถึงจุดสมดุลโดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.1 แต่วิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสที่เหลือโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) และคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก และคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดแมงกานีส

3.4.3.3 การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดสี

การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดสี โดยเตรียมน้ำสีสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 หน่วยคลอโรแพลทตินัม ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 แล้วเติมถ่านกระดูกน้ำหนัก 1 กรัม เขย่าที่ 125 รอบต่อนาทีและเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งถึงจุดสมดุลและเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งถึงจุดสมดุลโดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.1 และ

วิเคราะห์ความเข้มข้นที่ลดลงด้วยเครื่องวัดแสง (Spectrophotometer) คำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดุกและประสิทธิภาพการกำจัดสี

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณถ่านกระดุกที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน แมงกานีส และสีในน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด โดยการทำการทดลองแบบกะ

3.4.3.4 ศึกษาปริมาณถ่านกระดุกที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน

การศึกษาปริมาณถ่านกระดุกที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน โดยการเตรียมน้ำคลอรีนสังเคราะห์ ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และแปรเปลี่ยนปริมาณของถ่านกระดุกที่ใช้ในการดูดซับตั้งแต่ตั้งนี้คือ 0, 0.25, 0.5, 1 และ 2 กรัมตามลำดับ และทำการทดลองดังนี้

- 1) เตรียมน้ำสังเคราะห์คลอรีน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่
- 2) ปรับค่าพีเอชเป็น 7 โดยใช้ 0.1 N ของกรดซัลฟูริก และ 0.1 N ของโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3) เติมถ่านกระดุกเท่ากับ 0.25, 0.5, 1 และ 2 กรัม ตามลำดับ
- 4) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องในเวลาที่ได้จากผลการศึกษาในข้อที่ 3.4.3.1
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในหัวข้อ 3.4.3.1 ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนที่เหลือในน้ำ โดยนำน้ำที่เก็บตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง GF/C แล้วนำน้ำที่ผ่านกระดาษกรองไปวิเคราะห์หาคลอรีนที่เหลือในน้ำโดยวิธี DPD แล้วคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดุกและประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีน

3.4.3.5 ศึกษาปริมาณถ่านกระดุกที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีส

การศึกษาปริมาณถ่านกระดุกที่เหมาะสมในการกำจัดแมงกานีส โดยการเตรียมน้ำแมงกานีสสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตรปรับพีเอชเท่ากับ 6 และการเปลี่ยนปริมาณถ่านกระดุก เท่ากับ 0.25, 0.5, 1 และ 2 กรัมตามลำดับ โดยทำการทำการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.4.3.4 โดยเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 3.4.3.2

3.4.3.6 การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดสี

การศึกษาปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดสี โดยเตรียมน้ำสีสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 100 หน่วยคลอโรเฟลทินีม ปรับพีเอชเท่ากับ 7 และแปรเปลี่ยนถ่านกระดูก เท่ากับ 0.25, 0.5, 1, 2 ตามลำดับ โดยทำการทำการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.4.3.4 โดยเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 3.4.3.3

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาถึงผลของค่าพีเอช และความเข้มข้นของคลอรีน แมงกานีส และสี ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารในน้ำทั้ง 3 ชนิด โดยทำการทดลองแบบกะ

3.4.3.7 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน

ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของคลอรีนในน้ำสังเคราะห์ โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 5,6,7,8 และ 9 และเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำเริ่มต้น 2, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมที่หาได้จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.4.3.4 โดยทำการทดลองดังนี้

- 1) เตรียมน้ำสีสังเคราะห์คลอรีนที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิตร ในขวดรูปชมพู่ 5 ใบ
- 2) ปรับค่าพีเอชของน้ำในขวดรูปชมพู่ทั้ง 5 ใบให้มีพีเอชเป็น 5,6,7,8 และ 9 โดยใช้ 0.1 N ของกรดไฮโดรคลอริกและ 0.1 N ของโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3) เติมถ่านกระดูกที่อัตราส่วนถ่านกระดูกที่เหมาะสมที่หาได้จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 3.4.3.4 ลงในขวดแต่ละใบ
- 4) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ 125 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในหัวข้อ 3.4.3.1 แล้วนำไปวัดปริมาณคลอรีนที่เหลือ และคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกระดูก และประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีน
- 6) ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1) ถึง 5) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำคลอรีนเริ่มต้นเป็น 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.4.3.8 ศึกษาผลของพีเอชและความเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีส

ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของแมงกานีสในน้ำสังเคราะห์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์เป็น 5, 6, 7, 8 และ 9 แต่ความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำเริ่มต้นเป็น 2, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมที่หาได้จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 3.4.3.5 และเก็บตัวอย่างน้ำช่วงเวลาที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในหัวข้อ 3.4.3.2 โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.4.3.7

3.4.3.9 ศึกษาหาค่าพีเอชและความเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี

ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของสีในน้ำสังเคราะห์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์เป็น 5, 6, 7, 8 และ 9 แต่ความเข้มข้นของสีในน้ำเริ่มต้น 100, 200 และ 300 หน่วยคลอโรแพลทินัมถ่านกระดูกที่เหมาะสมที่หาได้จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 3.4.3.6 และเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในหัวข้อ 3.4.3.3 โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.4.3.7

3.4.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน แมงกานีสในน้ำจริงโดยทำการทดลองแบบคอลัมน์

การทดลองนี้จะใช้ข้อมูลจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบกะจากหัวข้อ 3.4.3 มาออกแบบคอลัมน์และทดลองใช้กับน้ำเสีย 2 ชนิด คือน้ำประปาจากโรงกรองน้ำสามเสนและน้ำจากคลองมหาสวัสดิ์ที่ใช้ผลิตน้ำประปาของโรงกรองน้ำมหาสวัสดิ์

3.4.4.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนในน้ำจริงโดยการทดลองแบบคอลัมน์

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนในน้ำจริงในการทดลองแบบคอลัมน์ ทดลองโดยใช้น้ำที่มีคลอรีน ซึ่งได้น้ำมาจากน้ำประปาที่โรงกรองน้ำสามเสน-ธนบุรี ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสมจากผลการทดลองในหัวข้อ 3.4.3.7 ไหลผ่านคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยบรรจุถ่านกระดูกให้มีความสูง 10 เซนติเมตร จากผลและทำการทดลองที่

อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านคอลัมน์ ที่อัตราการไหลเท่ากับ 240 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

- 1) บรรจุถ่านกระดูกลงในคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยบรรจุถ่านกระดูกให้มีความสูง 10 เซนติเมตร
- 2) ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 ใช้ 0.1 N ของกรดไฮโดรคลอริกและ 0.1 N ของโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3) ป้อนน้ำสังเคราะห์เข้าคอลัมน์ทางด้านบน ที่อัตราการไหลที่ 240 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง
- 4) วิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนที่เหลือของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดทุก 1 วัน
- 5) วัดปริมาตรน้ำทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดยุติ

3.4.4.2 ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในการทดลองแบบคอลัมน์

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำจริงในการทดลองแบบคอลัมน์ ทดลองโดยใช้น้ำเสียที่มีแอมโมเนียเริ่มต้นเท่ากับ ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 6-7 ไหลผ่านคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยบรรจุถ่านกระดูกให้มีความสูง 10 เซนติเมตร ทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านคอลัมน์ 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

- 1) บรรจุถ่านกระดูกลงในคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยบรรจุถ่านกระดูกให้มีความสูง 10 เซนติเมตร
- 2) ปรับค่าพีเอชของน้ำที่มีแอมโมเนียให้เท่ากับ 6-7 โดยใช้ 0.1 N ของกรดไฮโดรคลอริก และ 0.1 N ของโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3) ป้อนน้ำสังเคราะห์เข้าคอลัมน์ทางด้านบน ที่อัตราการไหลเท่ากับ 60 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง
- 4) วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียที่เหลือของน้ำที่ผ่านการกำจัดทุกๆ 1 วัน
- 5) วัดปริมาตรน้ำทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดยุติ

3.5 ตัวแปรในการทดลอง

ค่าตัวแปรต่างๆในแต่ละขั้นตอนแสดงในตารางที่ 3.1 - 3.4

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาถึงผลของเวลาสัมผัสเหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนแมงกานีสและสี ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 3.1

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

- 1) ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น
 - ความเข้มข้นเริ่มต้นของคลอรีน แมงกานีสและสี
 - ค่าพีเอชของน้ำ
 - ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์
- 2) ปริมาณถ่านกระดูก
- 3) รอบการกวน

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- เวลาในการเขย่า

ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1) ลักษณะของน้ำเสียหลังทดลอง
 - ปริมาณคลอรีน แมงกานีสและสีที่เหลือในน้ำที่เวลาต่างๆ
 - พีเอชของน้ำหลังการทดลอง
- 2) ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน แมงกานีสและสี

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของสภาวะในการเตรียมถ่านกระดูกที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน แอมโมนีแอมและสี

ชนิดของน้ำสังเคราะห์	คลอรีน	แอมโมนีแอม	สี
ตัวแปร			
ตัวแปรคงที่			
1. ลักษณะของน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น			
- ความเข้มข้น (มก./ล.)	5 มก./ล.	2 มก./ล.	100 Pt-Co
- ค่าพีเอช	7	6	7
- ปริมาณน้ำสังเคราะห์ (มล.)	200	200	200
2. ปริมาณถ่านกระดูก (กรัม)	0.5	1	1
3. รอบการกวน (รอบ/นาที)	125	125	125
ตัวแปรอิสระ			
เวลาในการเขย่า	เก็บตัวอย่าง ทุกช่วงเวลา	เก็บตัวอย่าง ทุกช่วงเวลา	เก็บตัวอย่าง ทุกช่วงเวลา
ตัวแปรตาม			
1. ลักษณะน้ำหลังการทดลอง			
- ปริมาณที่เหลือ	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
- พีเอช	-	-	-
2. ประสิทธิภาพในการกำจัด	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณผ่านกระดุกที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีน แอมกานีส และสี ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 3.2

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่

- 1) ลักษณะของน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น
 - ความเข้มข้นของ คลอรีน แอมกานีส และสี
 - ค่าพีเอช
 - ปริมาณน้ำสังเคราะห์
- 2) รอบการกวน
- 3) เวลาในการเขย่าจากการศึกษาในขั้นตอนที่ 1

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1) ปริมาณผ่านกระดุก 4 ค่า
- 2) ชนิดของสารในน้ำ 3 ชนิด

ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1) ลักษณะของน้ำสังเคราะห์หลังจากทำการทดลอง
 - ปริมาณสารที่เหลือในน้ำที่เวลาต่างๆ
 - พีเอชของน้ำหลังการทดลอง
- 2) ประสิทธิภาพในการกำจัด

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองศึกษาปริมาณถ่านกระดุกที่เหมาะสมในการกำจัด
คลอรีน แอมโมนีลและสี

ชนิดของน้ำสังเคราะห์	คลอรีน	แอมโมนีล	สี
ตัวแปร			
ตัวแปรคงที่			
1. ลักษณะของน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น			
- ความเข้มข้น	5 มก./ล.	2 มก./ล.	100 Pt-Co
- ค่าพีเอช	7	6	7
- ปริมาณน้ำสังเคราะห์	200	200	200
2. รอบการกวน (รอบ/นาที)	125	125	125
3. เวลาในการเขย่า	จากการศึกษาใน ข้อที่1	จากการศึกษาใน ข้อที่1	จากการศึกษาใน ข้อที่1
ตัวแปรอิสระ			
1. ปริมาณถ่านกระดุก (กรัม)	0.25,0.5,1,2	0.25,0.5,1,2	0.25,0.5,1,2
2. ชนิดของสารในน้ำ	คลอรีน	แอมโมนีล	สี
ตัวแปรตาม			
1. ลักษณะน้ำหลังการทดลอง			
- ปริมาณคลอรีน แอมโมนีล สี ที่ เหลือ	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
- พีเอช	-	-	-
2. ประสิทธิภาพในการกำจัด	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาถึงผลค่าพีเอชและความเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนแมงกานีสและสี ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.3

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

- 1) ปริมาณน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น
- 2) รอบการกวน
- 3) ปริมาณถ่านกระตุ้นที่ได้จากผลการศึกษาในขั้นตอนที่ 2
- 4) เวลาในการเขย่า ที่ได้จากผลการศึกษาขั้นตอนที่ 1

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1) ลักษณะของน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น
 - ค่าพีเอช 4 ค่า
 - ความเข้มข้นเริ่มต้น
- 2) ชนิดของคลอรีน แมงกานีสและสีในน้ำ 3 ชนิด

ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1) ลักษณะของน้ำสังเคราะห์หลังจากทำการทดลอง
 - ปริมาณ คลอรีน แมงกานีส และสี ที่เหลือในน้ำ
 - ค่าพีเอช
- 2) ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน แมงกานีสและสี

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของค่าพีเอชและความเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีน แอมงานีสและสี

ชนิดของน้ำสังเคราะห์	คลอรีน	แอมงานีส	สี
ตัวแปร			
ตัวแปรคงที่			
1. ปริมาณน้ำสังเคราะห์ (มล.)	200	200	200
2. ปริมาณถ่านกระดุก(กรัม)	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 2
3. รอบการกวน (รอบ/นาที)	125	125	125
4. เวลาในการเขย่า	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 1
ตัวแปรอิสระ			
ลักษณะของน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น			
- ค่าพีเอช	4,5,6,7,8,9	4,5,6,7,8,9	4,5,6,7,8,9
- ความเข้มข้นเริ่มต้น	2,3,5	2, 5, 10	100,200,300
ตัวแปรตาม			
1. ลักษณะน้ำหลังการทดลอง			
- ปริมาณสารที่เหลือ	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
- พีเอช	-	-	-
2. ประสิทธิภาพในการกำจัด	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน แอมกานีสในน้ำจริงโดยการทำการทดลองแบบคอลัมน์

ตัวแปรที่ควบคุมคงที่ ได้แก่

- 1) ขนาดของคอลัมน์
- 2) ความสูงของถ่านกระดูกที่บรรจุในคอลัมน์
- 3) อัตราการไหลของน้ำ
- 4) ค่าพีเอชของน้ำ

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1) ชนิดของ คลอรีน แอมกานีส ในน้ำ

ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1) ลักษณะของน้ำสังเคราะห์หลังจากทำการทดลอง
 - ปริมาณ คลอรีน แอมกานีส ที่เหลือในน้ำที่เวลาต่างๆ
 - ค่าพีเอช
- 2) ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนและแอมกานีส
- 3) ปริมาตรที่ผ่านการกำจัดคลอรีน และแอมกานีส จนถึงจุดยุติ

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน แมงกานีส
 ในน้ำจริงโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องด้วยคอลัมน์

ชนิดของน้ำสังเคราะห์	คลอรีน	แมงกานีส
ตัวแปร		
ตัวแปรคงที่		
1. เส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ (ซม)	1	1
2. ความสูงของถ่านกระดูก	10	10
3. อัตราการไหล	240	60
4. ลักษณะของน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น		
- ค่าพีเอช	7	7
- ตัวแปรอิสระชนิดของสาร	คลอรีน	แมงกานีส
ตัวแปรตาม		
1 ลักษณะของน้ำที่ผ่านการกรอง		
- ปริมาณสารที่หลงเหลือ	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
- พีเอช	-	-
2 ประสิทธิภาพในการกำจัด	ร้อยละ	ร้อยละ
3 ปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดจนถึงจุด ยุติ	BV	BV