

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 1 ม. สามารถเก็บตัวอย่างน้ำได้ที่ความสูง 0, 0.2, 0.5 และ 0.8 ม.
2. ชุดอุปกรณ์การตกตะกอน ประกอบด้วย ถังตกตะกอนขนาด 25 ล. ไขพัดกวนและมอเตอร์
3. ถังเก็บน้ำชะมูลฝอย
4. เครื่องสูบน้ำ
5. เครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar test) ของ Phipp & Bird รุ่น PB-700 TM
6. เครื่องวัด pH (pH meter) ของ Cyberscan รุ่น 510 PC
7. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ของ Hach รุ่น DR/400U
8. เครื่องชั่งละเอียด ของ Precisa รุ่น 240 A
9. เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter) ของ Hach รุ่น 2100 AN
10. ตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 8 และ 30 (ตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 8 หมายถึง ตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิด 2.36 มม. และตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 30 หมายถึง ตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิด 0.60 มม.)
11. ชุดกรองสูญญากาศ (Vacuum filtration)
12. เครื่องดูดอากาศ (Suction pump)
13. นาฬิกาจับเวลา
14. เดสิเคเตอร์ (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น
15. ตู้อบอุณหภูมิ 103-105 °C (Hot air oven)
16. ตู้อบอุณหภูมิ 150 °C (Hot air oven)
17. เครื่องแก้ว

### สารเคมี

1. สารละลายอูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 20 % (% wt/wt) (คุณสมบัติของสารดังแสดงในตารางผนวกที่ ก1 และการคำนวณความเข้มข้นของสารดังแสดงในภาคผนวก ข)

2. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 20 % (% wt/wt) (คุณสมบัติของสารดังแสดงในตารางผนวกที่ ก2 และการคำนวณความเข้มข้นของสารดังแสดงในภาคผนวก ข)
3. สารละลายโพเทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 20 % (% wt/wt) (คุณสมบัติของสารดังแสดงในตารางผนวกที่ ก3 และการคำนวณความเข้มข้นของสารดังแสดงในภาคผนวก ข)
4. ถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (คุณสมบัติของถ่านดังแสดงในตารางผนวกที่ ก4)
5. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ COD โดยวิธีไทเทรต (Closed reflux, Titrimetric method)
6. สารละลายมาตรฐานแพลตินัม-โคบอลต์ (Pt-Co method)
7. กระดาษกรองใยแก้ว Whatman GF/C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 มม.
8. น้ำกลั่น
9. น้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยเทศบาลเมืองปทุมธานี

### วิธีการ

#### 1. แผนการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ศึกษาการตกตะกอนทางเคมีในน้ำชะมูลฝอยโดยใช้เครื่องมือจาร์เทสต์ สำหรับสารสร้างตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต เฟอร์ริกคลอไรด์และโพเทสเซียมไดโครเมต โดยพิจารณาปริมาณสารสร้างตะกอนและค่า pH ที่เหมาะสม

1.2 ศึกษาการดูดซับแบบต่อเนื่องในระบบสัมผัสแบบคอลัมน์โดยถ่านกัมมันต์ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งาน

1.3 ศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่างกระบวนการตกตะกอนทางเคมีกับกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำชะมูลฝอย

2.1.1 เก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยเทศบาลเมืองปทุมธานี โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอยก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดและทำการเก็บในจุดเดียวกันทุกครั้งเพื่อให้น้ำชะมูลฝอยมีคุณภาพคงที่ การเก็บใช้ภาชนะถังพลาสติกและเก็บน้ำตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เมื่อยังไม่นำมาใช้งาน

2.1.2 ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาม Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA AWWA and WPCF., 1998) โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำชะมูลฝอย

| พารามิเตอร์                       | หน่วย  | วิธีการวิเคราะห์                           |
|-----------------------------------|--------|--------------------------------------------|
| ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)          | -      | pH meter                                   |
| สี (Color)                        | Pt-Co  | Spectrophotometer method                   |
| ความขุ่น (Turbidity)              | NTU    | Turbidity meter                            |
| ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) | มก./ล. | Total suspended solids dried at 103-105 °C |
| ซีโอดี (COD)                      | มก./ล. | Closed reflux, Titrimetric method          |

### 2.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้ในการทดลองผลิตมาจากกะลามะพร้าว โดยนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น เพื่อกำจัดเศษผงและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 3 ชม. แล้วทิ้งไว้ให้เย็นลงในเคสิเคเตอร์เพื่อรอทดลองในขั้นต่อไป

## 2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนทางเคมีในน้ำชะมูลฝอย

เพื่อหาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม (Optimum dose) และค่า pH ที่เหมาะสม (Optimum pH) มีขั้นตอนดังนี้

### 2.3.1 การศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบหยาบ

1. นำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยมาเติมลงในภาชนะทดสอบจาร์เทสต์ขนาด 1 ลิ.  
จำนวน 6 ใบ
2. กวนน้ำด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ตัวอย่างผสม  
กันเป็นอย่างดี
3. เติมสารสร้างตะกอนที่ต้องการทดสอบลงในน้ำตัวอย่างโดยทดสอบใน  
ปริมาณต่างๆ
4. กวนเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ตัวอย่างและ  
สารสร้างตะกอนผสมกันได้ดี
5. กวนช้าด้วยความเร็ว 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที และความเร็ว 20 รอบ/นาที  
เป็นเวลา 5 นาที
6. ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที
7. นำน้ำใสมาวิเคราะห์ค่า pH สีและความขุ่น
8. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมแบบละเอียด  
ต่อไป

### 2.3.2 การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบหยาบ

1. นำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยมาเติมลงในภาชนะทดสอบจาร์เทสต์ขนาด 1 ล.  
จำนวน 6 ใบ
2. ปรับค่า pH ในน้ำตัวอย่างตั้งแต่ช่วง 4-9 ด้วย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 N และ  $\text{NaOH}$  1 N
3. กวนน้ำด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ตัวอย่างผสม  
กันเป็นอย่างดี
4. เติมสารสร้างตะกอนที่ต้องการทดสอบลงในน้ำตัวอย่างในปริมาณที่เหมาะสม  
ที่หาได้จากข้อ 2.3.1
5. กวนเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ตัวอย่างและ  
สารสร้างตะกอนผสมกันได้ดี
6. กวนช้าด้วยความเร็ว 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที และความเร็ว 20 รอบ/นาที  
เป็นเวลา 5 นาที
7. ปลอ่ยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที
8. นำน้ำใสมาวิเคราะห์ค่า pH สีและความขุ่น
9. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด  
ต่อไป

### 2.3.3 การศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด

1. นำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยมาเติมลงในภาชนะทดสอบจาร์เทสต์ขนาด 1 ล.  
จำนวน 6 ใบ

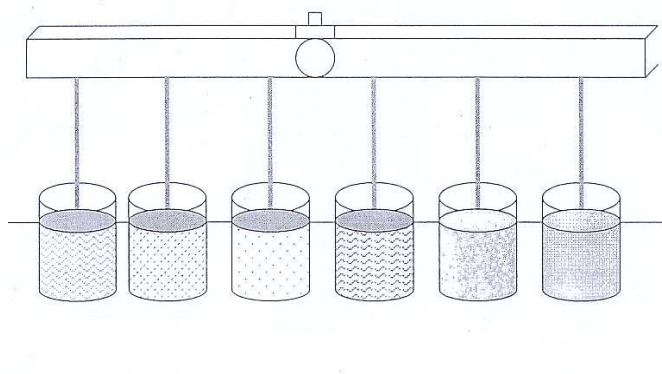
2. ปรับค่า pH ในน้ำตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 2.3.2
3. กวนน้ำด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ตัวอย่างผสมกันเป็นอย่างดี
4. เติมสารสร้างตะกอนที่ต้องการทดสอบลงในน้ำตัวอย่าง โดยทดสอบในช่วงระดับความเข้มข้นที่แคบลงที่หาได้จากข้อ 2.3.1
5. กวนเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ตัวอย่างและสารสร้างตะกอนผสมกันได้ดี
6. กวนช้าด้วยความเร็ว 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที และความเร็ว 20 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที
7. ปลอ่ยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที
8. นำน้ำใสมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5
9. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอน

#### 2.3.4 การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด

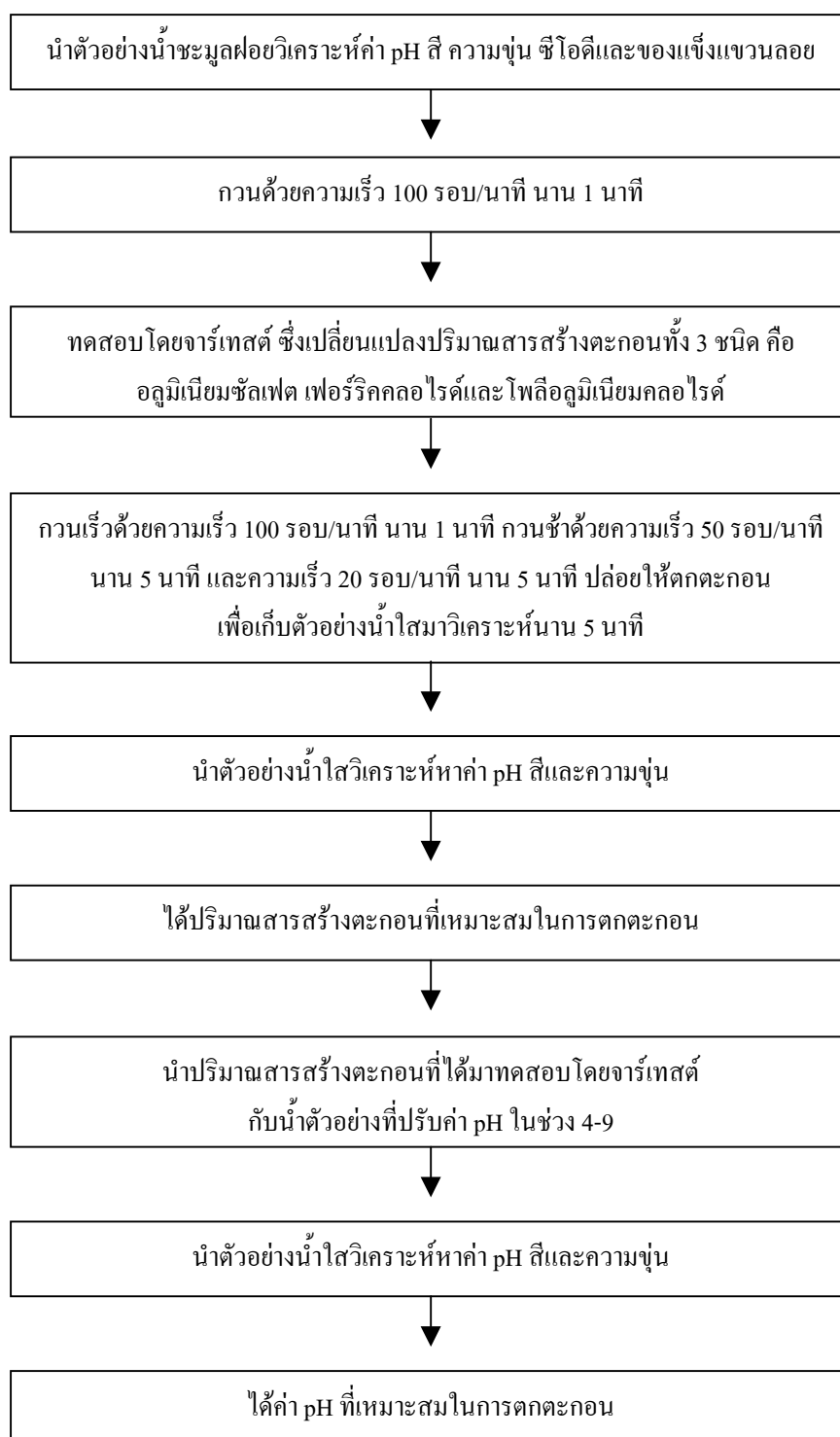
1. นำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยมาเติมลงในภาชนะทดสอบจาร์ทดสอบขนาด 1 ลิ. จำนวน 6 ใบ
2. ปรับค่า pH ในน้ำตัวอย่างให้อยู่ในช่วงที่แคบลงซึ่งหาได้จากข้อ 2.3.2 โดยใช้  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 N และ  $\text{NaOH}$  1 N

3. กวนน้ำด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาทิจ เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้น้ำตัวอย่างผสมกันเป็นอย่างดี
4. เติมสารสร้างตะกอนที่ต้องการทดสอบลงในน้ำตัวอย่างในปริมาณที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 2.3.3
5. กวนเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาทิจ เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้น้ำตัวอย่างและสารสร้างตะกอนผสมกันได้ดี
6. กวนช้าด้วยความเร็ว 50 รอบ/นาทิจ เป็นเวลา 5 นาที และความเร็ว 20 รอบ/นาทิจเป็นเวลา 5 นาที
7. ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที
8. นำน้ำใสมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5
9. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

ภาพที่ 11 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยวิธีจาร์เทสต์และสรุปแผนการทดลองดังภาพที่ 12-14

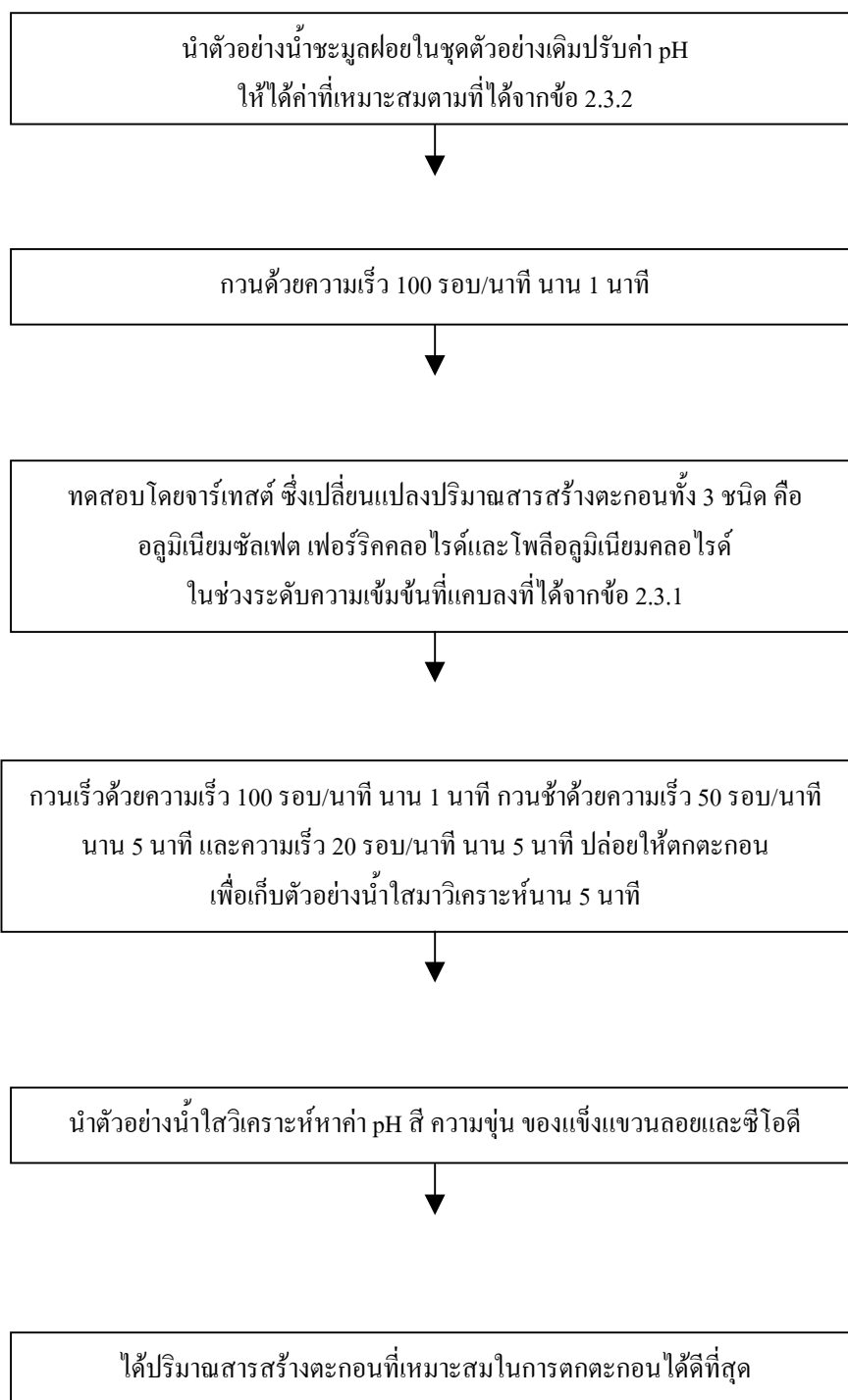


ภาพที่ 11 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยวิธีจาร์เทสต์

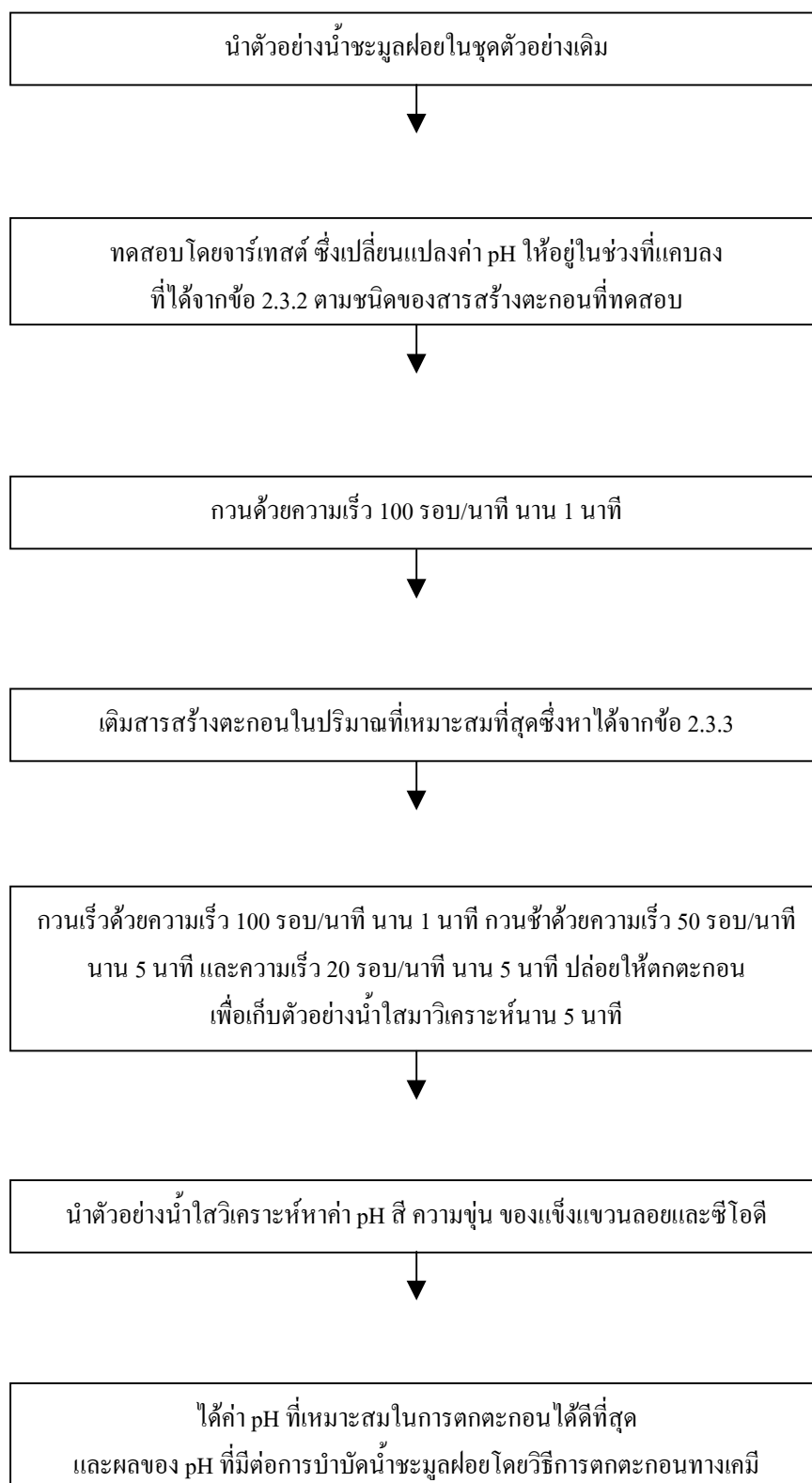


ภาพที่ 12 แผนผังการศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนและค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน  
แบบหยาบ





ภาพที่ 13 แผนผังการศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด



ภาพที่ 14 แผนผังการศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด

## 2.4 การทดสอบการดูดซับแบบต่อเนื่อง

ดำเนินการทดลองโดยการป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบสัมผัสแบบคอลัมน์อย่างต่อเนื่องแบบไหลลง (Down flow) มีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

### 2.4.1 การศึกษาอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์

1. นำถ่านกัมมันต์มาอุ่นผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และล้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30
2. อัตราน้ำล้นผิวเปลี่ยนแปลง 3 ค่า คือ 0.02, 0.03 และ 0.04 ลบ.ม./ตร.ม.-นาที่
3. เก็บตัวอย่างน้ำบริเวณเหนือชั้นถ่านกัมมันต์และน้ำที่ผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ที่ระยะ 0.2, 0.5 และ 0.8 ม. โดยกำหนดระยะเวลาในการเดินระบบจนกระทั่งถ่านหมดประสิทธิภาพและนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5
4. นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์

### 2.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1. นำถ่านกัมมันต์มาอุ่นผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และล้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30
2. อัตราน้ำล้นผิวเปลี่ยนแปลง 3 ค่า คือ 0.02, 0.03 และ 0.04 ลบ.ม./ตร.ม.-นาที่
3. เก็บตัวอย่างน้ำบริเวณเหนือชั้นถ่านกัมมันต์และน้ำที่ผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ที่ระยะ 0.2, 0.5 และ 0.8 ม. และนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5

#### 4. นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 6 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ภาพที่ 15 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับแบบคอลัมน์และสรุปแผนการทดลองดังภาพที่ 16-17

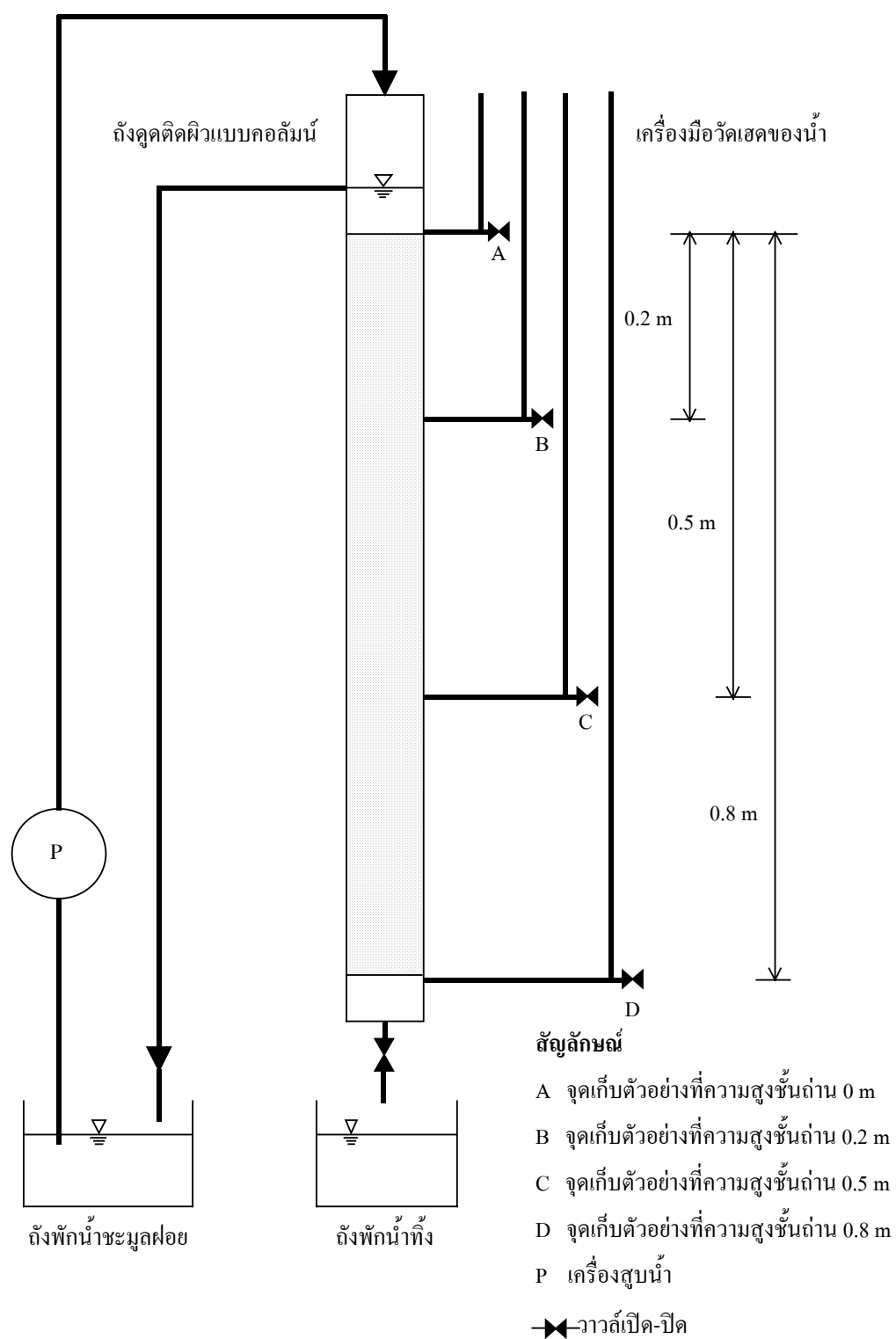
ตารางที่ 6 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษากระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

| อัตราน้ำสิ้นผิว<br>(ลบ.ม./ตร.ม.-นาท) | อัตราการไหล<br>(ล./นาท) | ความสูงชั้นถ่าน<br>(ม.) | ปริมาตรถ่าน<br>(ลบ.ชม.) | ระยะเวลาการดูดซับ<br>(นาท) |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0.02                                 | 0.04                    | 0.2                     | 406                     | 10                         |
|                                      |                         | 0.5                     | 1,014                   | 25                         |
|                                      |                         | 0.8                     | 1,622                   | 40                         |
| 0.03                                 | 0.06                    | 0.2                     | 406                     | 7                          |
|                                      |                         | 0.5                     | 1,014                   | 17                         |
|                                      |                         | 0.8                     | 1,622                   | 27                         |
| 0.04                                 | 0.08                    | 0.2                     | 406                     | 5                          |
|                                      |                         | 0.5                     | 1,014                   | 13                         |
|                                      |                         | 0.8                     | 1,622                   | 20                         |

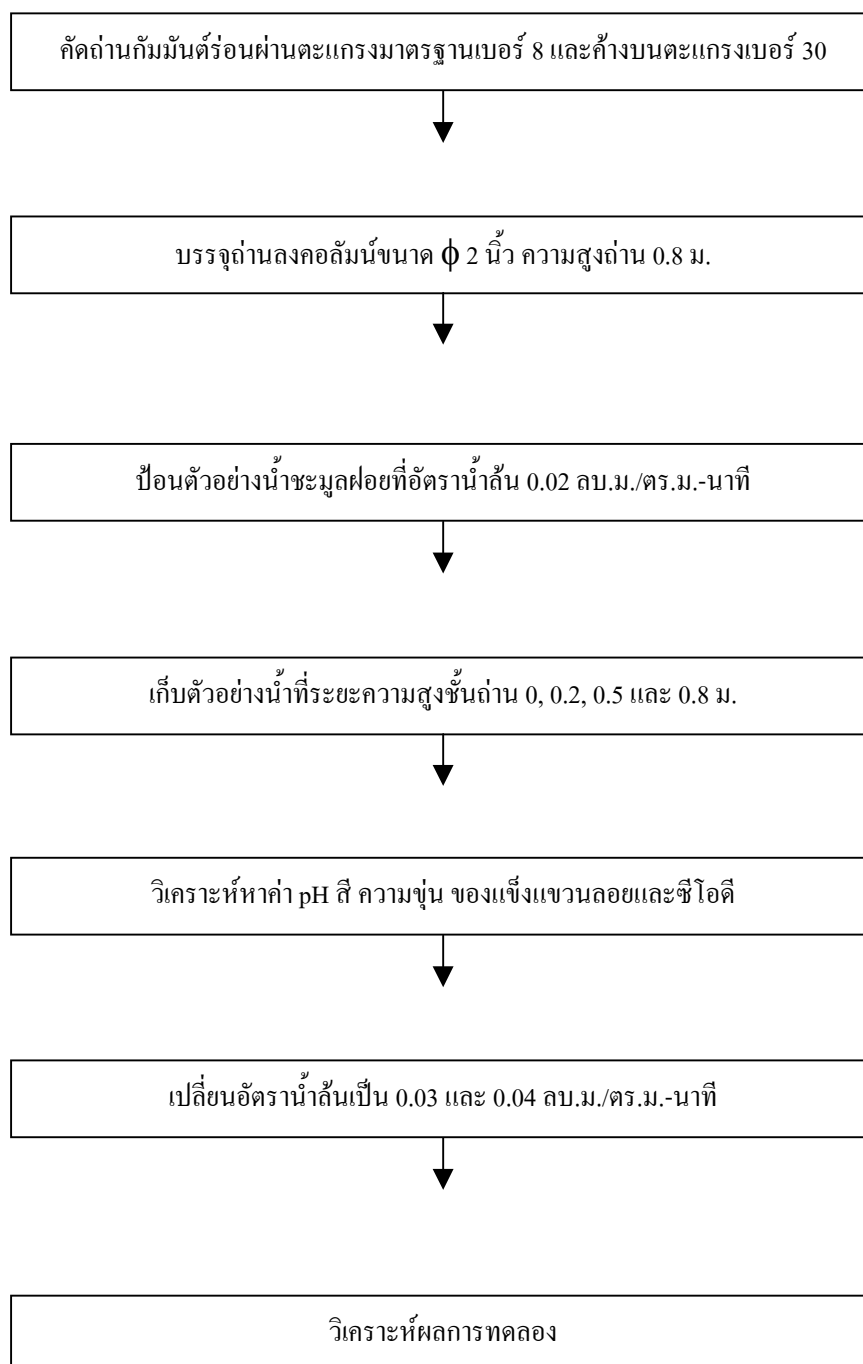
#### 2.5 การศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่างวิธีการตกตะกอนทางเคมีกับกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

##### 2.5.1 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

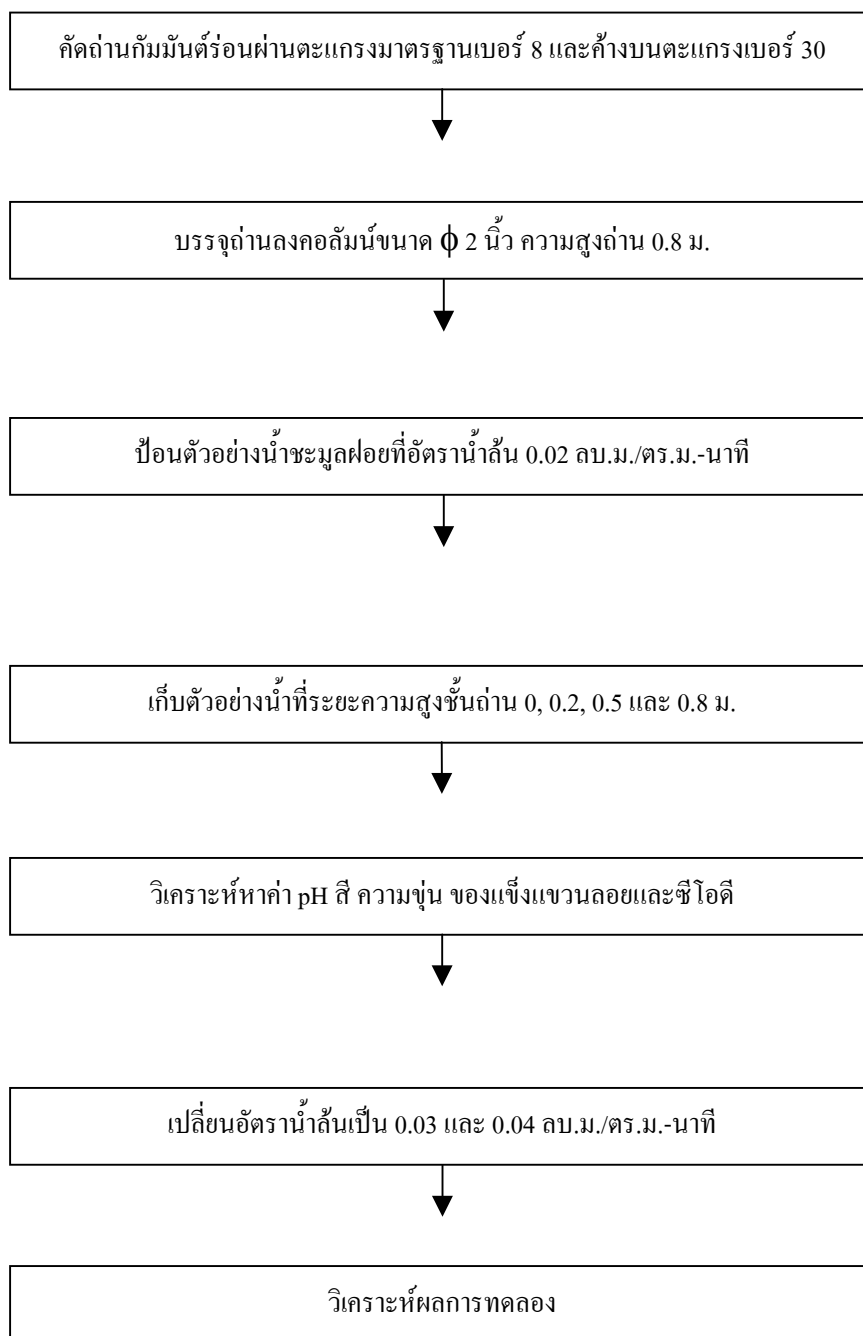
ดำเนินการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยเลือกใช้สารสร้างตะกอนที่ดีที่สุด ซึ่งพิจารณาจากประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่ได้จากผลการทดลองข้อ 2.3 โดยใช้ชุดอุปกรณ์การตกตะกอน (รายละเอียดการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการกวนผสม (P) ความเร็วเกรเดียนท์ (G) และค่า  $Gt$  ที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก)



ภาพที่ 15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการดูดฉีดพ่นแบบคอถัมน์



ภาพที่ 16 แผนผังการศึกษาอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 17 แผนผังการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1. นำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยมาเติมลงในถังตกตะกอนจำนวน 20 ล.
2. ปรับค่า pH ในน้ำตัวอย่างซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนที่หาได้

จากข้อ 2.3

3. กวนน้ำด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาทิจนเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ตัวอย่างผสมกันเป็นอย่างดี
4. เติมสารสร้างตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดลงในน้ำตัวอย่างในปริมาณที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 2.3
5. กวนเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาทิจนเป็นเวลา 90 วินาที เพื่อให้ตัวอย่างและสารสร้างตะกอนผสมกันได้ดี
6. กวนช้าด้วยความเร็ว 25 รอบ/นาทิจนเป็นเวลา 15 นาที
7. ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที
8. นำน้ำใสมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5

#### 2.5.2 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

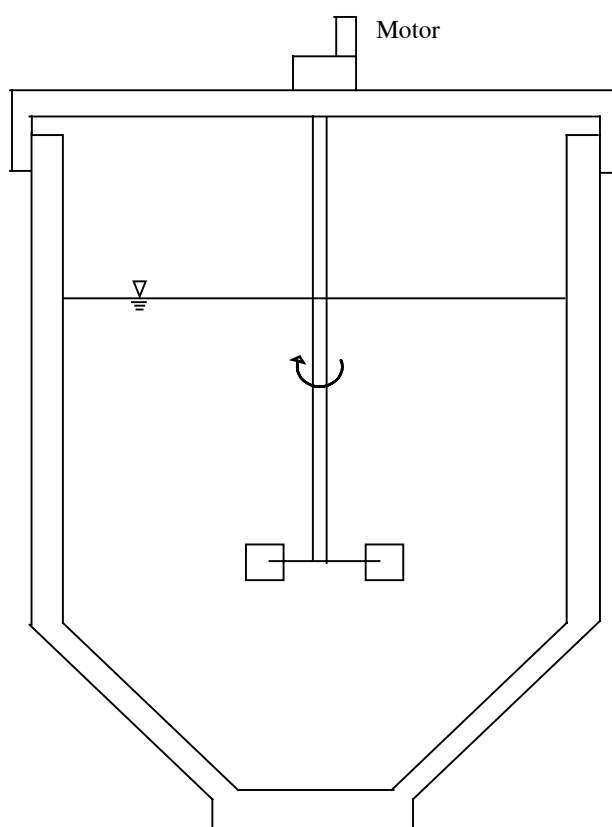
ดำเนินการเดินระบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ตัวแปรในการเดินระบบที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ดีที่สุด ซึ่งหาได้จากข้อ 2.4

1. นำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีจากข้อ 2.5.1 มาบำบัดต่อโดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์
2. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5

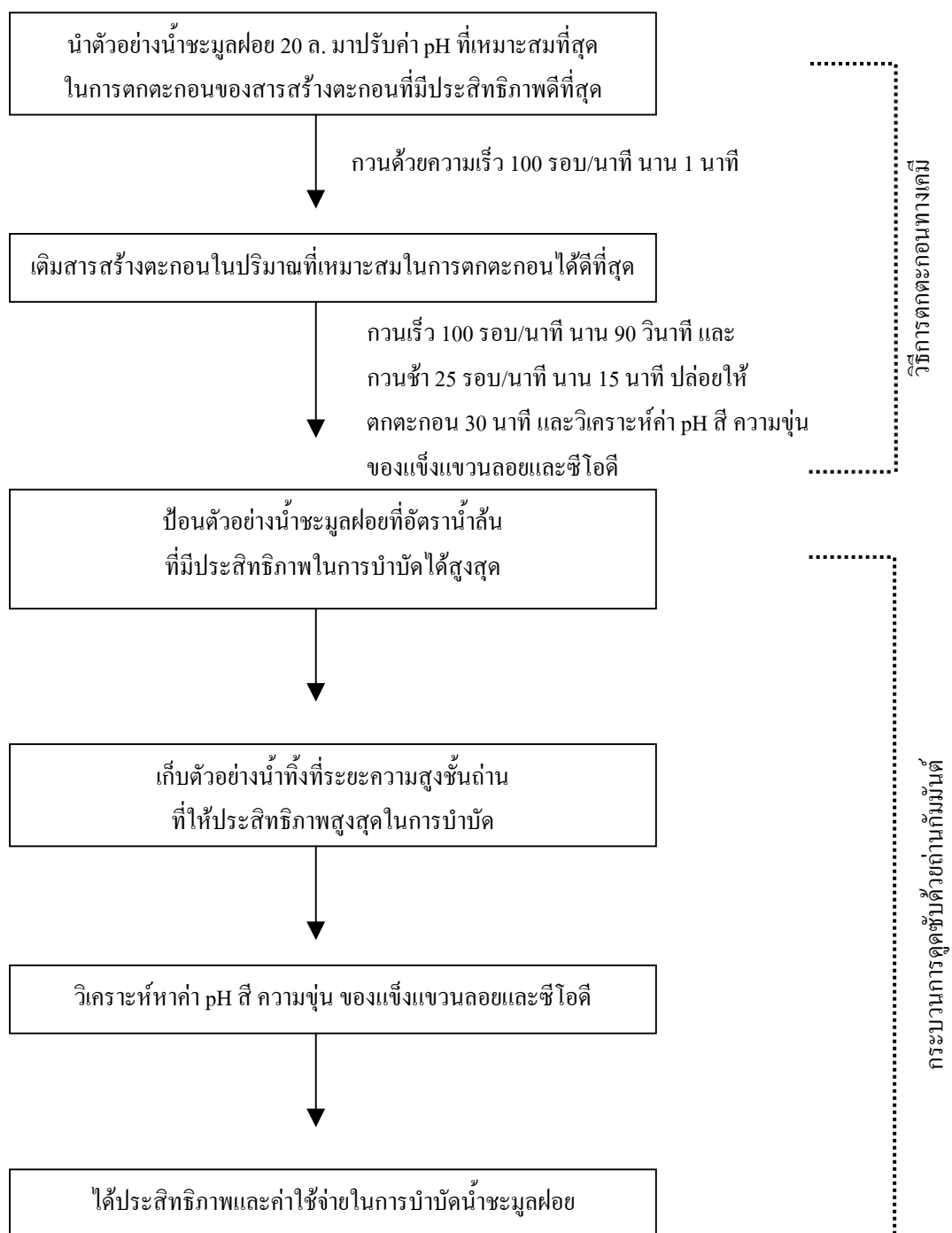


### 3. หาประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการบำบัดเปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธี

ภาพที่ 18 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษากระบวนการตกตะกอนทางเคมีและภาพที่ 19  
สรุปแผนการทดลอง



ภาพที่ 18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษากระบวนการตกตะกอนทางเคมี



ภาพที่ 19 แผนผังการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์