# บทที่ 4

## การวางแผนการวิจัย

การทดลองนี้กระทำที่ห้องปฏิบัติการของ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 4.1 แผนการทดลอง

แผนภูมิแสดงเจตน์จำนงค์ของแผนการทดลองโดยสรุปทั้งหมดในการวิจัยนี้ แสดงในรูปที่ 4.1 โดยแบ่งการทดลองในห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัยนี้ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

**4.1.1 การทดลองส่วนที่ 1 : การศึกษาหาค่าตัวแทนลักษณะทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียที่เกิดขึ้นในภาคสนาม**

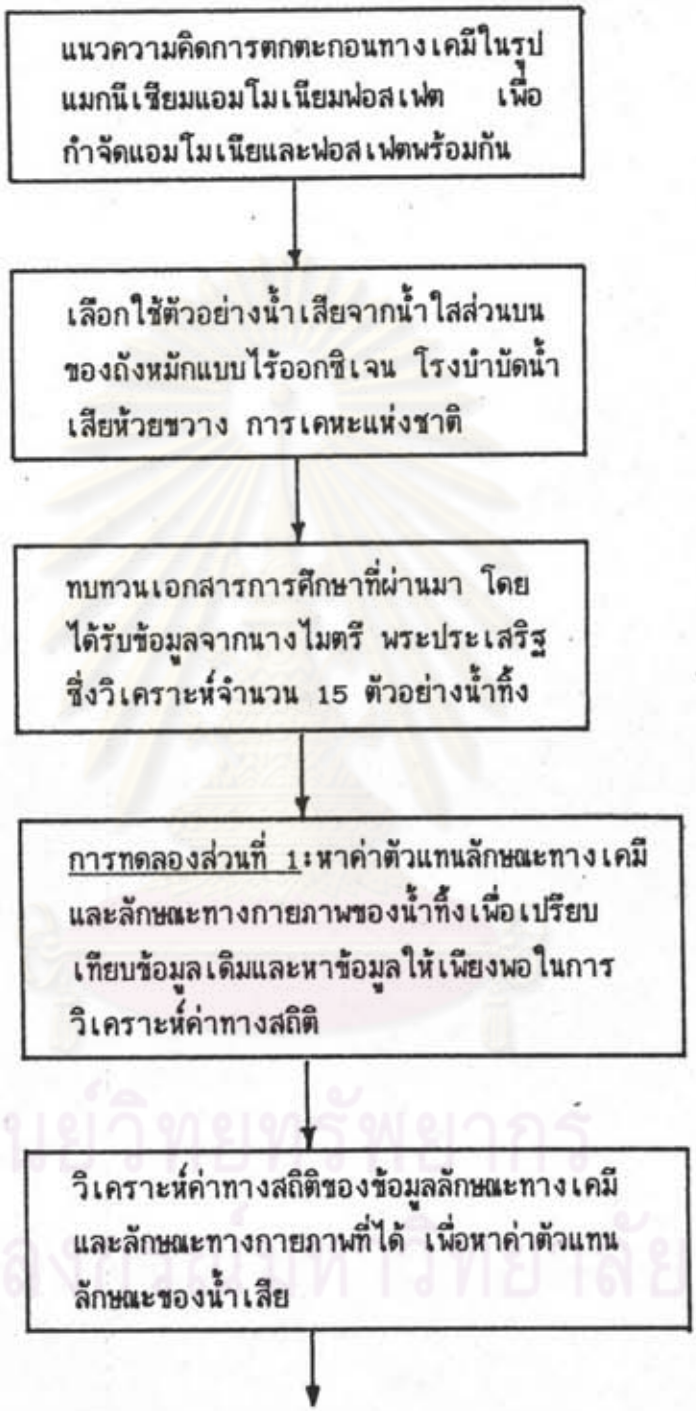
วัตถุประสงค์หลักส่วนหนึ่งของการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาถึงการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตที่มีในน้ำเสียโดยระบบการตกผลึก ดังนั้นจึงได้พิจารณาหาน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียและปริมาณฟอสเฟตละลายอยู่สูง

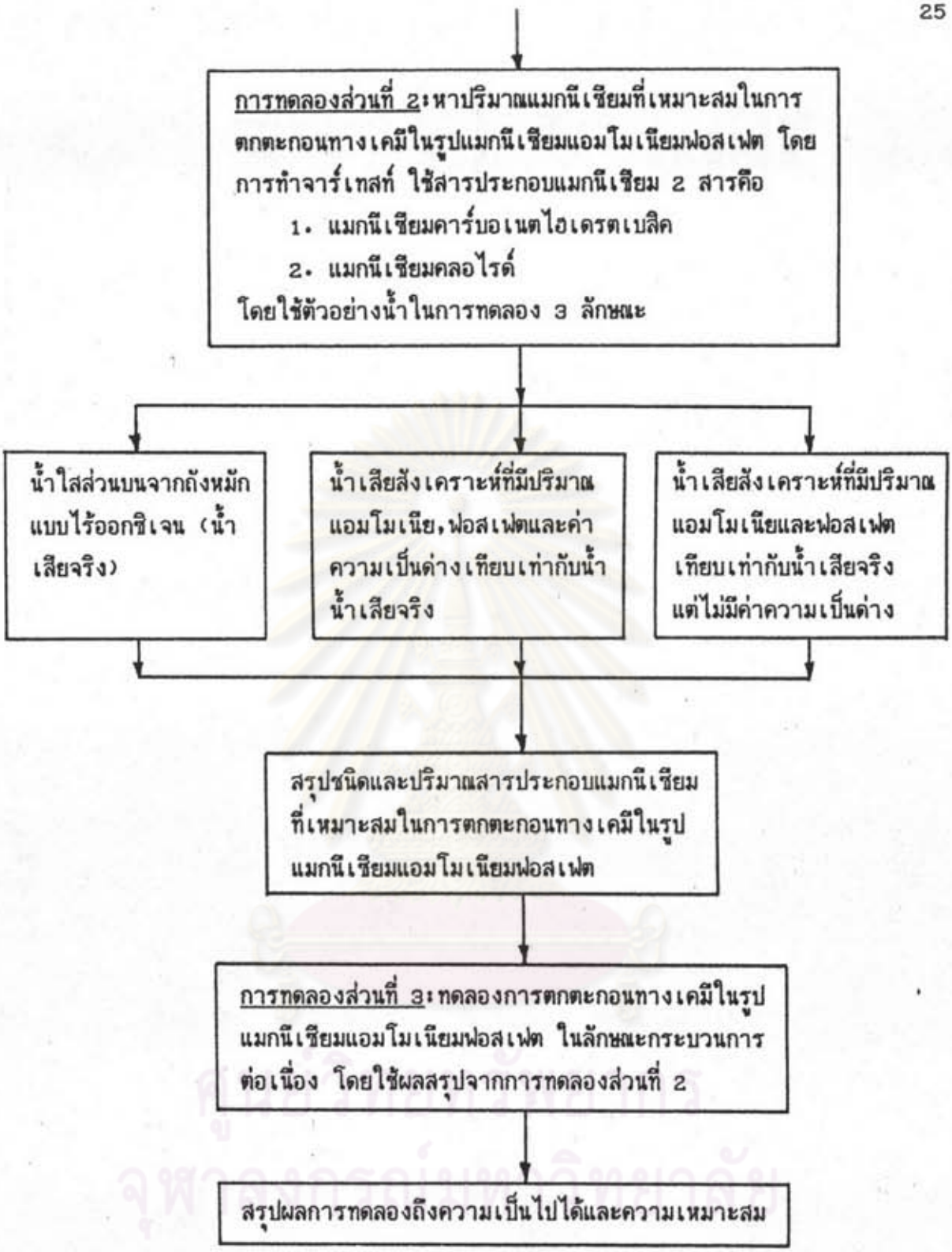
การทดลองส่วนที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกชนิดน้ำเสียจากภาคสนาม และหาค่าตัวแทนลักษณะทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียนั้น โดยมีหลักในการพิจารณาว่าแหล่งน้ำเสียนั้นมีอัตราการไหลต่ำแต่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสละลายอยู่ในปริมาณสูง ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งจากน้ำใสส่วนบน จากถังหมักแบบไร้ออกซิเจน ที่โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางการเคหะแห่งชาติ มาเป็นตัวแทนของน้ำเสียที่ต้องการ

จากการทบทวนเอกสารการศึกษาที่ผ่านมา ได้รับข้อมูลการวิเคราะห์น้ำใสส่วนบนนี้ 15 ตัวอย่างจากนางไมตรี พระประเสริฐ(11) โดยมีช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์อยู่ระหว่าง 3 มกราคม 2528 ถึง 6 พฤษภาคม 2528

เมื่อพิจารณาจำนวนข้อมูลดังกล่าว พบว่ามีจำนวนข้อมูลไม่เพียงพอจึงได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมและเพื่อรวบรวมข้อมูลให้เพียงพอสำหรับ

รูปที่ 4.1 แผนภูมิสรุปแผนการทดลอง




การทดลองส่วนที่ 2: หาปริมาณแมกนีเซียมที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีในรูปแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต โดยการทำจาร์เทสท์ ใช้สารประกอบแมกนีเซียม 2 สารคือ
1. แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิค
2. แมกนีเซียมคลอไรด์
โดยใช้ตัวอย่างน้ำในการทดลอง 3 ลักษณะ
น้ำใสส่วนบนจากถังหมักแบบไร้ออกซิเจน (น้ำเสียจริง)
น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณแอมโมเนีย, ฟอสเฟตและค่าความเป็นด่างเทียบเท่ากับน้ำน้ำเสียจริง
น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณแอมโมเนียและฟอสเฟตเทียบเท่ากับน้ำเสียจริง แต่ไม่มีค่าความเป็นด่าง
สรุปชนิดและปริมาณสารประกอบแมกนีเซียมที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีในรูปแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต
การทดลองส่วนที่ 3: ทดลองการตกตะกอนทางเคมีในรูปแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ในลักษณะกระบวนการต่อเนื่อง โดยใช้ผลสรุปจากการทดลองส่วนที่ 2
สรุปผลการทดลองถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสม

การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใน 2 ลักษณะ คือ

ก) ตัวอย่างน้ำทิ้งที่เก็บแล้ววิเคราะห์ หาลักษณะทางเคมีและลักษณะทางกายภาพทันที ใช้สัญญลักษณ์ย่อ 'R' (หรือ raw sample)

ข) ตัวอย่างน้ำทิ้งที่กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน แล้วนำมาวิเคราะห์ หาลักษณะทางเคมีและลักษณะทางกายภาพ ใช้สัญญลักษณ์ย่อ 'F' (หรือ filtered sample)

วิธีวิเคราะห์หาลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ ใช้วิธีที่ระบุไว้ในหนังสือ Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (13) และหนังสือเคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์(14) วิธีวิเคราะห์แต่ละลักษณะของน้ำทิ้งแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 วิธีวิเคราะห์หาลักษณะทางเคมีและลักษณะทางกายภาพที่ใช้ในการวิจัยนี้(13,14)

| ลักษณะที่วิเคราะห์ | วิธีวิเคราะห์ |
|---|---|
| ทีเคเอ็น | Kjeldalh preliminary distillation and tritration |
| แอมโมเนียไนโตรเจน | Preliminary distillation and tritration |
| บีโอดี(5 วัน) | Tritration (Azide modification) |
| ซีโอดี | Dichromate reflux |
| ฟอสเฟตทั้งหมด | Vanadomolybdate |
| ค่าความเป็นด่าง | Tritration (Indicator Method) |
| ของแข็งแขวนลอย | Gravimetric |
| พีเอช | เครื่องวัดพีเอช |

**4.1.2 การทดลองส่วนที่ 2 : การทดลองเพื่อหาปริมาณแมกนีเซียมที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีในรูปแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต**

จากข้อสรุปทางสถิติของผลการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ใช้ค่าตัวแทนลักษณะของน้ำทิ้งทางเคมีและทางกายภาพมาเป็นข้อมูลในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อใช้ในการทดลองส่วนที่ 2 อันเป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณแมกนีเซียมที่เหมาะสม ในการตกตะกอนทางเคมีในรูปแมกนีเซียมแอมโมนียมฟอสเฟต โดยแบ่งตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองออกอีกดังนี้

ก) น้ำเสียจริงที่นำมาจากน้ำใสส่วนบนของถังหมักแบบไร้ออกซิเจน ณ โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

ข) น้ำเสียสังเคราะห์(ดูภาคผนวก ผ.1)อันมีลักษณะทางเคมี 2 ลักษณะดังนี้

ข.1) น้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีปริมาณอนุมูลแอมโมเนียม อนุมูลฟอสเฟต และค่าความเป็นด่าง เทียบเท่ากับน้ำเสียจริง

ข.2) น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณอนุมูลแอมโมเนียมและอนุมูลฟอสเฟต เทียบเท่ากับน้ำเสียจริง แต่ไม่มีค่าความเป็นด่าง

การทดลองในส่วนที่ 2 เพื่อหาปริมาณแมกนีเซียมที่เหมาะสมนี้ ได้เลือกใช้สารเคมีที่เป็นตัวให้แมกนีเซียมอิออน ดังต่อไปนี้

1. แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิค ($3MgCO_3.Mg(OH)_2.3H_2O$)

และ 2. แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2.6H_2O$)

ในทางทฤษฎีการตกตะกอนทางเคมี ปริมาณแมกนีเซียมที่ต้องการในการตกตะกอนทางเคมีในรูปแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต คำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ของค่าคงที่การละลายน้ำ ($K_{sp}$) ของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ปริมาณอนุมูลแอมโมเนียมและปริมาณอนุมูลฟอสเฟต ที่มีในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งแสดงได้ดังนี้(7,8,9)

$$[Mg^{2+}] = K_{sp}/[NH_4^+] * [PO_4^{-3}]$$ หน่วย โมล/ลิตร

หรือ $[Mg^{2+}] = 2.5*10^{-13}/[NH_4^+] * [PO_4^{-3}]$ หน่วย โมล/ลิตร

เมื่อ $K_{sp}$ :ค่าคงที่การละลายน้ำของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งเท่ากับ $2.5*10^{-13}$ โมลต่อลิตร ที่ 25 °เซลเซียส

$[NH_4^+]$ :ความเข้มข้นของอนุมูลแอมโมเนียมในน้ำเสียที่ใช้ทดลอง มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร

$[PO_4^{-3}]$ :ความเข้มข้นของอนุมูลฟอสเฟตในน้ำเสียที่ใช้ทดลอง มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร

$[Mg^{+2}]$ :ความเข้มข้นของแมกนีเซียมอิออน ที่ใช้ในการตกตะกอน มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร

ในน้ำเสียที่มีปริมาณอนุมูลแอมโมเนียมและปริมาณอนุมูลฟอสฟอรัสละลายอยู่สูง ปริมาณแมกนีเซียมที่คำนวณได้ข้างต้นนั้น เป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการตกตะกอนในรูปแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตเท่านั้น แต่ยังคงมีปริมาณอนุมูลแอมโมเนียมและอนุมูลฟอสเฟตเหลืออยู่ ทั้งนี้เป็นเพราะจำนวนโมลของแมกนีเซียมมีน้อยกว่าจำนวนโมลของอนุมูลทั้ง 2 ซึ่งการเข้ารวมตัวของแมกนีเซียมอิออน, อนุมูลแอมโมเนียมและอนุมูลฟอสเฟตเพื่อเกิดเป็นตะกอนแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีอัตราส่วนของจำนวนโมลเป็น 1:1:1 ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้มีการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำอย่างสมบูรณ์ที่สุด ต้องใช้ปริมาณแมกนีเซียมอย่างน้อยเท่ากับจำนวนโมลที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนโมลของอนุมูลทั้ง 2 ทั้งนี้ผลคูณของความเข้มข้นของอิออนทั้งหมดต้องมากกว่าค่าคงที่การละลายน้ำของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตด้วย

เมื่อคำนวณปริมาณแมกนีเซียมอิออนที่ใช้ในการตกตะกอนทางเคมีแล้ว จึงคำนวณปริมาณแมกนีเซียมที่ต้องใช้ในรูปสารประกอบ (ที่เลือกใช้เป็นตัวให้แมกนีเซียมอิออน นั่นคือ แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิค และแมกนีเซียมคลอไรด์) โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบ กับน้ำหนักอะตอมของแมกนีเซียมอิออน ซึ่งแสดงได้ดังนี้

1. $[3MgCO_3.Mg(OH)_2.3H_2O] = (364/72) * [Mg^{+2}] = 5.06 * [Mg^{+2}]$

2. $[MgCl_2.6H_2O] = (203/24) * [Mg^{+2}] = 8.46 * [Mg^{+2}]$

สำหรับสารเคมีทั้งสองที่ใช้ในแต่ละการทดลอง หาดูได้จากภาคผนวก ผ.3

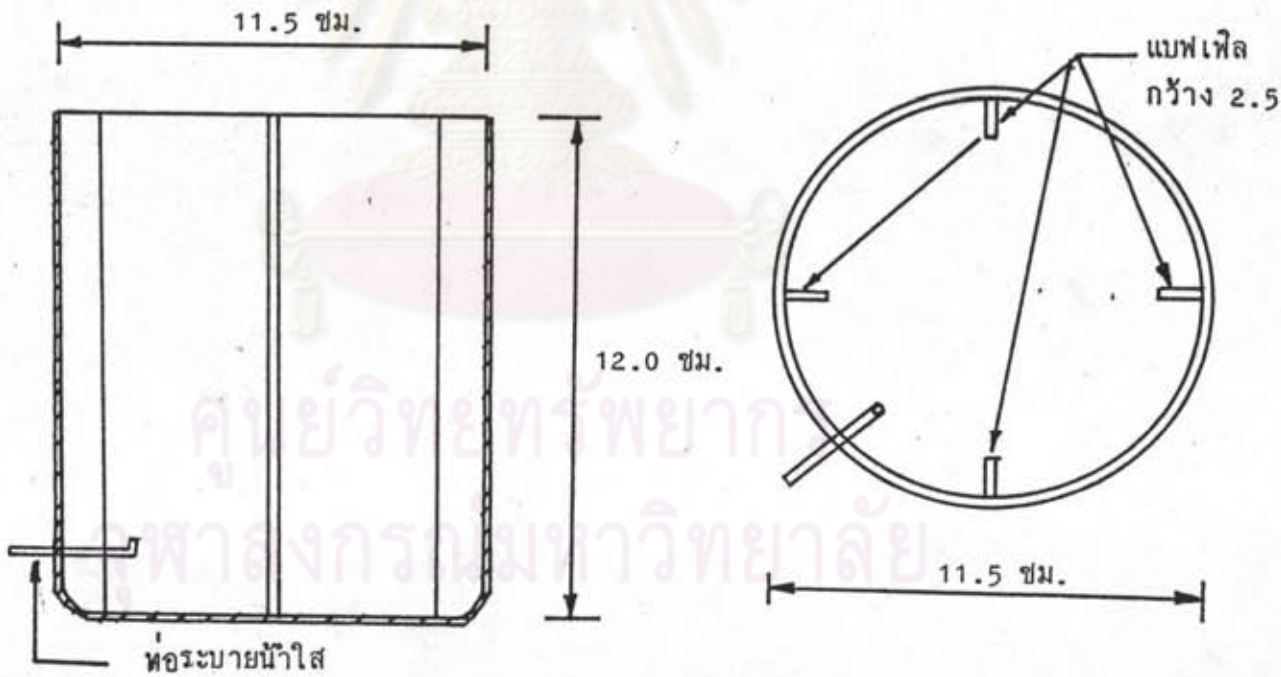
วิธีการทดลองในการทดลองส่วนที่ 2 เพื่อหาชนิดและปริมาณแมกนีเซียมที่เหมาะสม ได้แก่การทำจาร์เทสท์ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) นำน้ำเสียใส่ลงในจาร์ที่ใช้ทดลองขนาด 500 มล.ซึ่งมีการติดตั้งแบฟเฟิล จำนวน 6 จาร์ (ดูรูปที่ 4.1)

ข) เปิดเครื่องกวนโดยในช่วงแรกกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที แล้วเติมสารประกอบแมกนีเซียมให้พร้อมกันทุกจาร์ โดยเปลี่ยนปริมาณแมกนีเซียมในแต่ละจาร์ ให้มีปริมาณครอบคลุมปริมาณแมกนีเซียมที่คำนวณได้ทางทฤษฎี

ค) นับเวลาทันทีเมื่อเติมสารประกอบแมกนีเซียมแล้วเสร็จ เมื่อครบเวลา 1 นาที ลดความเร็วรอบในการกวนเป็นช่วงกวนช้า ด้วยความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

ง) ปิดเครื่องกวนทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที




รูปที่ 4.2 แสดงรูปร่างและขนาดจาร์ที่ใช้ในการทดลอง

จ) นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละจาร์ ไปวิเคราะห์หาลักษณะของน้ำหลังการทดลอง โดยวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณฟอสเฟต ค่าความเป็นด่าง และพีเอช

ฉ) ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียทั้ง 3 ลักษณะที่เตรียมไว้ และใช้สารประกอบที่เป็นตัวให้แมกนีเซียม 2 สาร ที่ได้กล่าวไว้แล้ว

ช) เปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมด เพื่อสรุปหาชนิดและปริมาณของสารประกอบแมกนีเซียมที่เหมาะสม ในการตกตะกอนทางเคมีในรูปแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต

## 4.2 สารเคมีในการเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาเลือกใช้สารเคมี เพื่อการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

| สารประกอบ | สูตรเคมี | น้ำหนักโมเลกุล | ลักษณะทางเคมีที่ได้ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | แอมโมเนีย | ฟอสเฟต | ค่าความเป็นด่าง |
| ไตรแอมโมเนียม-ฟอสเฟต | $(NH_4)_3PO_4$ | 149 | 42 | 31 | - |
| แอมโมเนียม-คลอไรด์ | $NH_4Cl$ | 53 | 14 | - | - |
| โซเดียมไบคาร์บอเนต | $NaHCO_3$ | 84 | - | - | 0.5952 |

หน่วย แอมโมเนีย : กรัม คิดในรูปไนโตรเจน
ฟอสเฟต : กรัม คิดในรูปฟอสฟอรัส
ค่าความเป็นด่าง : กรัม คิดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย