# บทที่ 3

## แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

### 3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของความเค็มที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยใช้กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบฟอรีดอกซ์ 3 ขั้นตอนในระดับห้องปฏิบัติการ น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ และความเค็มนั้นกำหนดให้อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์

ตัวแปรที่พิจารณาในการทดลองนี้แบ่งได้เป็น 3 แบบด้วยกันคือตัวแปรคงที่(fixed variables) ตัวแปรอิสระ (independent variables) และตัวแปรตาม (dependent variables)

#### 3.1.1 ตัวแปรคงที่

ตัวแปรที่กำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลองมีหลายตัวแปร ซึ่งแต่ละตัวแปรและค่าที่คุมในการทดลองให้คงที่นั้น แสดงดังตารางที่ 3.1

#### 3.1.2 ตัวแปรอิสระ

การศึกษาวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อหาผลกระทบของความเค็มที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ดังนั้นตัวแปรอิสระก็คือค่าความเค็ม (salinity) ในที่นี้หมายถึงค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้น 5 ค่าด้วยกันคือ

- เริ่มต้นจากน้ำเสียเริ่มแรกคือระบบควบคุมที่ไม่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (0%)
- เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยความเข้มข้น 0.5% (5 ก./ล.) 1.0% (10 ก./ล.) 2.0% (20 ก./ล.) และ 3.0% (30 ก./ล.)

#### 3.1.3 ตัวแปรตาม

ในการทดลองนี้ตัวแปรตามเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร

อิสระ ได้แก่ ค่าพีเอช ออกซิเจนละลาย โออาร์พี สภาพด่าง ของแข็งแขวนลอย เอสวี30 เอสวีไอ เอ็มแอลเอสเอส ซีโอดี ไนโตรเจน ไนเทรต ไนไทรต์ ฟอสฟอรัส

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง

| ลำดับที่ | ตัวแปรคงที่ | ค่าที่คุมในการทดลอง |
|---|---|---|
| 1. | เวลากักพักของแข็ง ,SRT | 10 วัน |
| 2. | ความเข้มข้นซีโอดีเข้าระบบ | 500 มก./ล. |
| 3. | ความเข้มข้นไนโตรเจน(TKN)เข้าระบบ | 25 มก./ล. |
| 4. | ความเข้มข้นฟอสฟอรัส(T-P)เข้าระบบ | 15 มก./ล. |
| 5. | อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ (Q) | 20 ลิตร/วัน |
| 6. | อัตราการเวียนสลัดจ์กลับ ($Q_{rs}$) | 0.4Q (8 ลิตร/วัน) |
| 7. | อัตราการเวียนสลัดจ์ภายใน ($Q_{ir}$) | 2Q (40 ลิตร/วัน) |
| 8. | เวลากักพักน้ำในถังแอนแอโรบิก | 2 ชม. |
| 9. | เวลากักพักน้ำในถังแอนอ็อกซิก | 2 ชม. |
| 10. | เวลากักพักน้ำในถังออกซิก | 12 ชม. |
| 11. | ค่าดีโอในถังเติมอากาศ | 1-2 มก./ล. |

3.2 การดำเนินการทดลอง

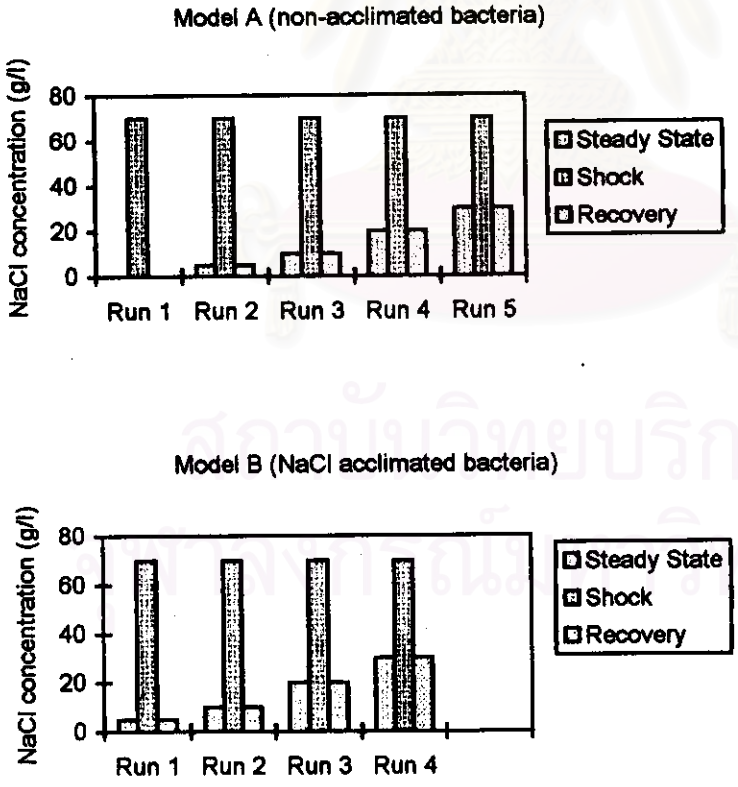
ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแยกเป็น 2 ชุดทดลองด้วยกัน คือชุดทดลองที่ใช้หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์ (without inoculation of halophilic bacteria) และชุดที่ใช้หัวเชื้อชินต่อคลอไรด์(with inoculation of halophilic bacteria) โดยในการทดลองได้แปรค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 0 (ควบคุม) สำหรับชุดที่ใช้หัวเชื้อไม่ชินต่อคลอไรด์ และ 5, 10, 20 และ 30 ก./ล. สำหรับทั้งสองชุดทดลอง ซึ่งลักษณะการดำเนินการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1

สำหรับชุดทดลองที่ใช้หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์นั้นได้นำหัวเชื้อจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาซึ่งไม่มีคลอไรด์มาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการโดยใช้ระบบแบบแบตช์เพื่อให้ชินต่อสภาพน้ำเสียสังเคราะห์ จากนั้นจึงนำเข้าสู่ระบบฟอรีดอกซ์ 3 ขั้นตอนหรือเอทู/โอ โดยในการทดลองที่ 1 คือระบบควบคุมที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีเกลือนั้นเมื่อระบบเข้าสู่สถานะ

I 17588554

คงตัวแล้ว และเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งค่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ(SOUR) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ(SNR และ SDNR)แล้ว ระบบจะถูกช็อกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงถึง 70 ก./ล.เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นกลับมาเติมเกลือด้วยความเข้มข้นเดิมอีกครั้งเพื่อสังเกตการฟื้นตัวของระบบ โดยทั้งสองช่วงนี้จะเก็บค่าต่างๆเช่นเดียวกับช่วงสถานะคงตัวด้วย และเมื่อสิ้นสุดการทดลองหัวเชื้อจะถูกเปลี่ยนใหม่ โดยใช้หัวเชื้อที่ถูกเลี้ยงไว้แบบแบตช์ซึ่งไม่เคยชินกับความเค็มมาก่อน ก่อนที่จะเริ่มการทดลองต่อไปทุกครั้ง

ส่วนชุดทดลองที่ใช้หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์นั้นหัวเชื้อที่ใช้เริ่มต้นได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนังที่มีสภาพความเค็มสูง แล้วนำมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแบบแบตช์ เลี้ยงด้วยอาหารและเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยปรับความเค็มเริ่มต้นให้ได้ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 5 ก./ล. จนกระทั่งหัวเชื้อชินต่อสภาวะแวดล้อมใหม่แล้วจึงนำเข้าสู่ระบบเอทู/โอ ซึ่งหัวเชื้อนั้นจะถูกใช้ไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองทั้งหมด




รูปที่ 3.1 ลักษณะการดำเนินการทดลองของทั้งสองชุดทดลอง

3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการเพื่อให้มีลักษณะตามต้องการ โดยส่วนประกอบของน้ำเสียประกอบด้วยน้ำตาลและกรดอะซิติก ซึ่งจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า น้ำตาล 1 มก./ล.ให้ค่าซีโอดี ประมาณ 1.4 มก./ล. และกรดอะซิติก 1 มก./ล.จะให้ค่าซีโอดีที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 1 มก./ล. ส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสนั้นจะเติมให้ได้อัตราส่วน COD:N:P 100:5:1 ส่วนสารประกอบอื่นๆ เติมดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์

| ส่วนประกอบ | ความเข้มข้น (มก./ล.) |
|---|---|
| 1. น้ำตาล | 301 (350 มก./ล. as COD) |
| 2. กรดอะซิติก | 0.133 มล./ล. (150 มก./ล. as COD) |
| 3. $KH_2PO_4$ | 65.8 (15 mg/l. as P) |
| 4. $(NH_2)_2CO$ | 53.6 (25 mg/l as N) |
| 5. $MgSO_4 . 7H_2O$ | 31.25 |
| 6. $FeCl_3$ | 1.0 |
| 8. $Ca(OH)_2$ | 85 |

โดยจะทำการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ด้วยความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อใช้ในการทดลองต่อไปด้วย

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุดทดลอง โดยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแต่ละชุด ประกอบด้วย

3.4.1 ถังปฏิกิริยา

ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ถัง ทำมาจากวัสดุที่เป็นพลาสติกอะครีลิกใส โดยมีขนาดและความจุดังนี้

1) ถังแอนแอโรบิก บรรจุน้ำ 1.67 ลิตร ขนาด 12 x 12 x 25 ลบ.ซม.

2) ถังแอน็อกซิก บรรจุน้ำ 1.67 ลิตร ขนาด 12 x 12 x 25 ลบ.ซม.

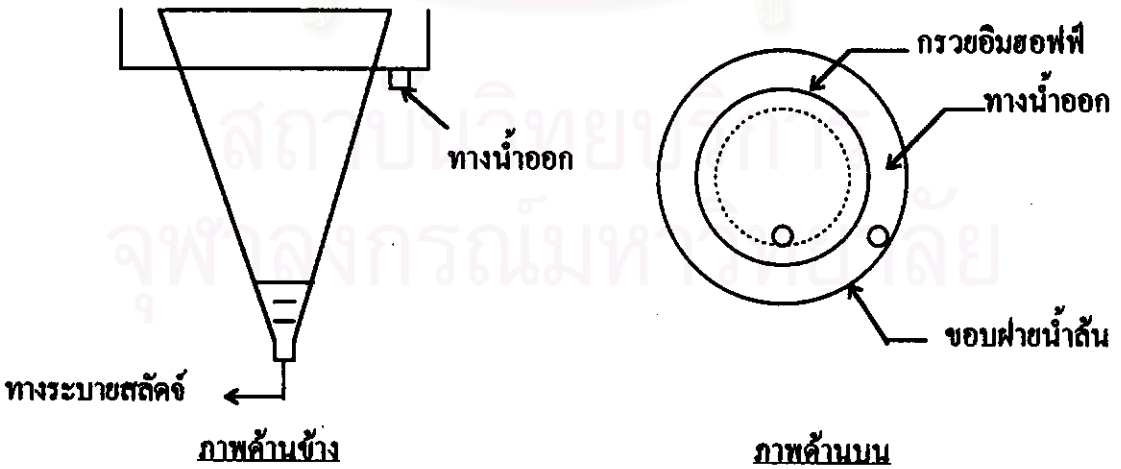
3) ถังออกซิก บรรจุน้ำ 10 ลิตร ขนาด 18 x 36 x 30 ลบ.ซม.

3.4.2 เครื่องสูบน้ำเสียและเครื่องสูบสลัดจ์

เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบและเครื่องสูบสลัดจ์ในระบบที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม (diaphragm pump) ซึ่งเครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบมีจำนวน 1 เครื่องต่อชุดการทดลอง โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 20 ลิตร/วัน ส่วนเครื่องสูบสลัดจ์ได้ใช้เครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย (peristatic pump) ซึ่งมี 2 ตัวต่อชุดทดลอง ตัวแรกใช้ในการเวียนสลัดจ์กลับจากถังตกตะกอนขั้นที่สองไปสู่ถังแอนแอโรบิกด้วยอัตราการไหล 8 ลิตร/วัน ($Q_{ras}$=0.4$Q_i$) ส่วนเครื่องสูบสลัดจ์อีกเครื่องจะถูกใช้ในการเวียนสลัดจ์ภายในระบบจากถังแอโรบิกไปสู่ถังแอน็อกซิกด้วยอัตราไหล 40 ลิตร/วัน($Q_{ir}$ = 2$Q_i$) ตำแหน่งของเครื่องสูบแต่ละตัวแสดงในรูปที่ 3.3 ที่จะกล่าวต่อไป

3.4.3 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนขั้นที่สองจะใช้กรวยอิมฮอฟฟ์สำเร็จรูปขนาด 1 ลิตรมาดัดแปลง ความจุสุดท้ายเท่ากับ 1.85 ลิตร จำนวน 1 ถังต่อชุดการทดลอง ลักษณะดังรูปที่ 3.2




รูปที่ 3.2 ถังตกตะกอนขั้นที่สอง (ดัดแปลงจากกรวยอิมฮอฟฟ์สำเร็จรูป)

3.4.4 เครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องอัดอากาศแบบเดียวกับที่ใช้สำหรับตู้เลี้ยงปลา ซึ่งจะทำการอัดอากาศเข้าสู่หินพรุนกระจายอากาศแบบเดียวกับที่ใช้ในตู้เลี้ยงปลาเช่นกันซึ่งในการทดลองนี้เพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนในถังออกซิกให้ได้ตามต้องการจะใช้หินพรุนขนาดเล็กสุดร่วมกับใบกวนเพื่อช่วยให้เกิดการผสมสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง

3.4.5 เครื่องกวนผสม

เครื่องกวนผสมจะใช้เพื่อให้เกิดการผสมของมวลจุลชีพกับสารอาหารภายในถังอย่างทั่วถึง โดยจะใช้สำหรับถังแอนแอโรบิก ถังแอน็อกซิก และถังออกซิกด้วย ซึ่งการกวนใน 2 ถังแรกนั้นต้องเกิดการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศน้อยที่สุด ในการวิจัยนี้จะใช้ค่า G เท่ากับ 40-200 วินาที$^{-1}$ (ดูรายการคำนวณที่ภาคผนวก ก.)และใบกวนที่ใช้เป็นใบพลาสติกเพื่อป้องกันการสึกกร่อนเนื่องจากความเค็ม

3.5 การติดตั้งเครื่องมือและการควบคุมระบบ

3.5.1 การติดตั้งเครื่องมือ

ในการศึกษาวิจัยนี้ จะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งลักษณะการติดตั้งเครื่องมือของกระบวนแอกทิเวเต็ดจ์สลัดจ์แบบฟอรีดอกซ์ 3 ขั้นตอนเอทู/โอ แสดงดังรูปที่ 3.2

3.5.2 การควบคุมระบบ

ในการทำการทดลอง สิ่งที่ต้องควบคุมตลอดการทดลอง มีดังนี้

1. ควบคุมอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบและการหมุนเวียนน้ำสลัดจ์ให้คงที่ โดยจะวัดและปรับแต่งทุกไม่เกิน 8 ชั่วโมงหรือตามความถี่ที่จำเป็นตลอดการทดลอง

2. ทำความสะอาดอุปกรณ์และดูแลการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ เช่น ตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำเสีย เครื่องสูบสลัดจ์ การชะเขี่ยมวลจุลชีพข้างถังลงถังปฏิกิริยา และตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ เป็นต้น ตลอดจนดูแลความสะอาดของสถานที่ทดลอง

3. ควบคุมการระบายสลัดจ์ออกจากถังแอโรบิก เพื่อคุมอายุสลัดจ์ (sludge age,$\theta c$) ให้ได้เวลา 10 วันตามต้องการ ซึ่งทำได้โดยการระบายสลัดจ์ออกจากถังแอโรบิก โดยปริมาณสลัดจ์ที่จะระบายนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\theta c = \frac{\text{ปริมาณจุลชีพที่มีอยู่ในถังปฏิกิริยา}}{\text{ปริมาณจุลชีพที่ระบายทิ้งออกจากระบบ}}$$

หรือ $$\theta c = \frac{V_T X}{Q_w X + (Q-Q_w)X_e}$$

โดยที่ $V_T$ = ปริมาตรรวมของถังปฏิกิริยาทุกถัง, ลิตร

$X$ = ความเข้มข้นของจุลชีพแขวนลอยในถังปฏิกิริยา, มก./ล.

$Q_w$ = อัตราการระบายสลัดจ์ทิ้งออกจากถังปฏิกิริยาโดยตรง,ลิตร/วัน

$Q$ = อัตราไหลของน้ำเสียเข้าระบบ ,ลิตร/วัน

$X_e$ = ความเข้มข้นของจุลชีพแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ออกจากถังตกตะกอน, มก./ล.

ถ้าน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนค่อนข้างใส , $X_e$ จะมีค่าต่ำมาก

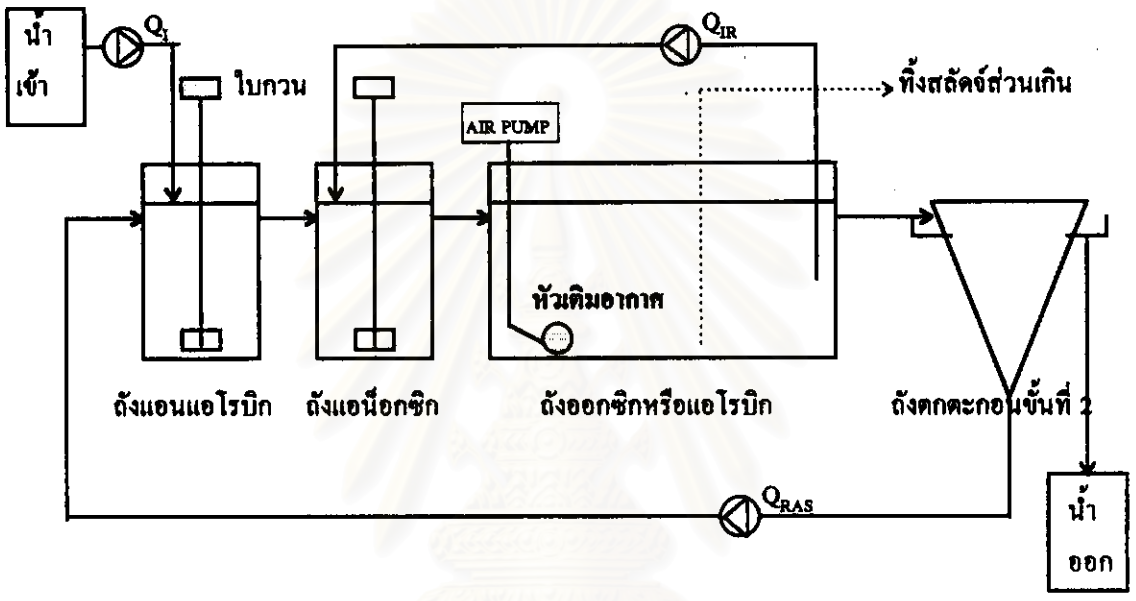
$$\theta_C = \frac{V_T}{Q_w}$$

ดังนั้นในระบบที่ทำการทดลองนี้จะทำการระบายสลัดจ์ออกจากถังแอโรบิกด้วยอัตรา

$$Q_w = \frac{1.67+1.67+10}{10} = 1.334 \text{ ลิตรต่อวัน}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยเอาออกวันละ 0.584 ลิตรและที่เหลือ 0.750 ลิตรนั้นจะถูกนำออกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยในการนำน้ำสลัดจ์ออกจากถังแต่ละถังเพื่อนำไปวิเคราะห์และทิ้งเพื่อรักษาอายุสลัดจ์ ปริมาตรน้ำในถังที่หายไปจะถูกเติมให้เท่าเดิมด้วยน้ำใสส่วนบนที่ผ่านถังตกตะกอนแล้ว ถ้าหากในช่วงที่เริ่มการทดลองหรือช่วงที่เกิดการช็อกหรือช่วงที่ระบบกลับสู่ความเข้มข้นปกติหลังการช็อกซึ่งน้ำที่ออกจากระบบจะไม่ใสนั้นต้องคิดค่า $X_e$ ที่ออกไปกับน้ำทิ้งรวมด้วย




รูปที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือทดลอง

3.6 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

3.6.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ คือ

- น้ำเสียดิบ กำหนดให้เป็นจุด I.
- น้ำเสียในช่วงแอนแอโรบิก กำหนดให้เป็นจุด Ana.
- น้ำเสียในช่วงแอน็อกซิก กำหนดให้เป็นจุด Ano.
- น้ำเสียในช่วงออกซิก กำหนดให้เป็นจุด O.
- น้ำเสียออกจากถังตกตะกอนขั้นที่สอง กำหนดให้เป็นจุด E.
- สลัดจ์ส่วนเกิน กำหนดให้เป็นจุด $Q_w$

3.6.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

หลังจากการเติมความเค็มที่ความเข้มข้นหนึ่งๆจะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางเคมีในน้ำเสีย จนกระทั่งการบำบัดน้ำเสียเข้าสู่สภาวะคงตัว หลังจากนั้นจึงจะทำการวัดค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ดังตารางที่ 3.3 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวัดตำแหน่งและความถี่ในการวัด และเมื่อเก็บผลการทดลองครบแล้วก็วัดค่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ รวมถึงค่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของระบบ (การคำนวณในภาคผนวก ข.) จากนั้นจึงจะช็อกระบบด้วยคลอไรด์ความเข้มข้นสูงแล้วเก็บผลการทดลองทุกพารามิเตอร์เช่นเดียวกับช่วงสถานะคงตัวทุกวันเป็นเวลา 4 วันแล้วกลับมาเติมเกลือด้วยความเข้มข้นเดิมอีกครั้งเก็บพารามิเตอร์ทุกตัวเช่นเดิมจนกว่าระบบจะกลับสู่สถานะคงตัวอีกครั้งหนึ่ง สำหรับวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์นั้นแต่ละตัวมีหลายวิธีให้เลือก ซึ่งวิธีที่จะใช้ในการวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และความถี่ที่จะเก็บตัวอย่างและทำการวิเคราะห์

| พารามิเตอร์ | ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเสีย | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I. | Ana. | Ano. | O. | E. | $Q_w$ |
| pH | D | D | D | D | D | - |
| $Alkalinity_F$ | MWF | MWF | MWF | MWF | MWF | - |
| DO | I | I | I | I | - | - |
| ORP | S | D/S | D/S | D/S | S | - |
| Temperature | D | D | D | D | D | - |
| Total COD | MWF | - | - | - | MWF | - |
| Filtered or soluble COD | - | MF | MF | MF | MF | - |
| SS | I | - | - | - | MWF | - |
| MLSS | - | MWF | MWF | MWF | - | - |
| $V_{30}$ | - | MWF/S | MWF/S | MWF/S | - | - |
| SVI | - | MWF/S | MWF/S | MWF/S | - | - |
| $Cl^-$ | D/S | - | - | - | D/S | - |
| TKN | MWF/S | MWF/S | MWF/S | MWF/S | - | - |

| พารามิเตอร์ | ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเสีย | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I. | Ana. | Ano. | O. | E. | $Q_w$ |
| $NO_2$-N | - | I/S | I/S | - | - | - |
| $NO_3$-N | - | MWF/S | MWF/S | MWF/S | - | - |
| T-P | I/S | - | - | - | - | MWF/S |
| T-P filtered | - | MWF/S | MWF/S | MWF/S | - | - |

หมายเหตุ ; D = ทุกวัน (daily) /S = วัดละเอียดในช่วง Stable แล้ว

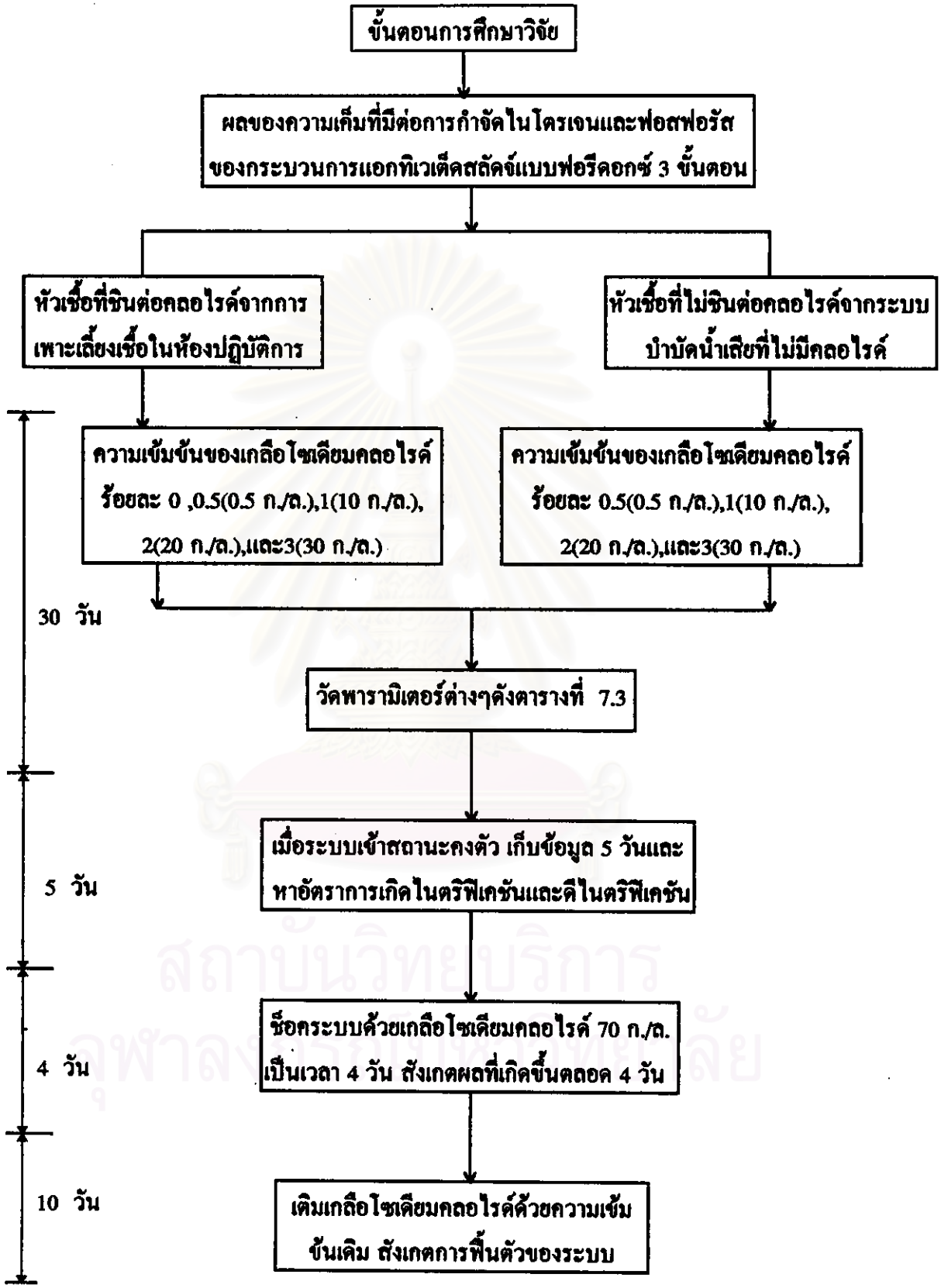
MWF = วันจันทร์ พุธ ศุกร์ I = วัดเป็นระยะๆ (intermittent)ตามจำเป็น

F = filtered sample S = Soluble

ตารางที่ 3.4 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์

| พารามิเตอร์ | วิธีการวิเคราะห์ |
|---|---|
| Temperature | Thermometer |
| pH | pH Meter |
| Alkalinity | Titration Method |
| ORP | ORP Meter with Platinum Electrode |
| DO | DO Meter |
| Total COD | Close Reflux Titrimetric Method |
| Filtered or Soluble COD | Close Reflux Titrimetric Method |
| SS | GF/C filter |
| MLSS | GF/C filter |
| $V_{30}$ | Volumetric Method |
| SVI | Calculation Method |
| $Cl^-$ | Mercury(II) Nitrate Method |
| TKN | Kjedahl Method |
| $NO_2$-N | UV - spectrophotometer |
| $NO_3$-N | SQ118 Spectroquant :Merck |
| T-P | Vannado Method |
| T-P filtered | Vannado Method |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย