

### บทที่ 3

#### แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

การทดลองทั้งหมดในการวิจัยนี้ทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของการเติมออร์โธฟอสเฟตภายหลังการดูดซึมกรดไขมันในชั้นคอนแอนแอรโรบิกของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ โดยใช้กระบวนการแยกชีวเคมีแบบแอสบิอาร์ซึ่งมีการทำงานแบบแอนแอรโรบิก/เอโรบิกในระดับห้องปฏิบัติการ น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ และออร์โธฟอสเฟตที่ใช้กำหนดให้อยู่ในรูปของโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต โดยมีตัวแปรต่างๆดังนี้

##### 3.1.1 ตัวแปรคงที่

ตัวแปรที่กำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลองมีหลายตัวแปร โดยแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง

ลำดับที่	ตัวแปรคงที่	ค่าที่กำหนด
1.	เวลากักพักเซตต์ลิ่ง, SRT	8 วัน
2.	เวลาเติมน้ำเสียเข้าถังปฏิกริยารวมกับเวลาช่วงแอนแอรโรบิก	2 ชั่วโมง
3.	เวลาช่วงเอโรบิก	4 ชั่วโมง
4.	เวลาที่ใช้ในการคกตะกอน	40 นาที
5.	เวลาระบายน้ำใสส่วนบนออกจากถังปฏิกริยา	5 นาที
6.	เวลาช่วงแอนออกซิก	1 ชั่วโมง 15 นาที
7.	ปริมาตรของน้ำเสียที่เติมเข้าถังปฏิกริยาใน 1 วัฏจักร	6.67 ลิตร
8.	ปริมาตรของน้ำในถังปฏิกริยาหลังเติมน้ำเสีย	10 ลิตร

### 3.2.2 คิวเปอร์อิสระ

การศึกษาวิจัยนี้มีคิวเปอร์อิสระที่ศึกษาคือ ปริมาณของออร์โธฟอสเฟตที่เติมลงไปหลังขั้นตอนแอนแอโรบิกและปริมาณของสารอาหารในรูปของอาร์บีซีไอดี

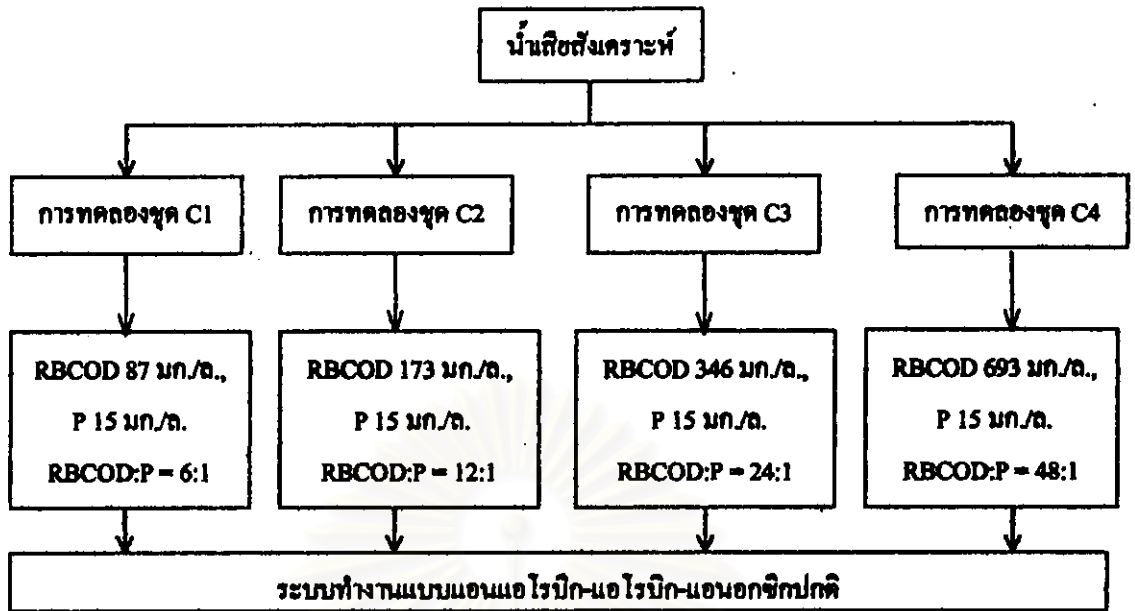
จากผลการวิจัยของ Randall และคณะ (1992) พบว่าอัตราส่วนบีไอดีต่อฟอสฟอรัสควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 20:1 เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงและฟอสฟอรัสที่ออกจากระบบมีค่าน้อยกว่า 1 มก./ล. แต่อย่างไรก็ตาม Randall และคณะ (1992) อ้างโดย Municipal Subcommittee of the Technical Practice Committee (1998) ได้แนะนำว่าการใช้อัตราส่วนของบีไอดีต่อฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่สามารถใช้เป็นค่าชี้วัดที่เชื่อถือได้ว่ากระบวนการชีวชีววิทยาสามารถที่จะเกิดขึ้นได้ในทุกสภาวะ นอกจากนี้ค่าซีไอดีที่วัดได้เป็นค่าที่นำเชื่อถือและคงที่มากกว่าค่าบีไอดี และสำหรับน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปค่าซีไอดีจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าบีไอดีสูงสุด แต่ในโรงบำบัดน้ำเสียที่มีการกำจัดธาตุอาหารบางแห่งพบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดธาตุอาหารจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และพบว่าอัตราส่วนบีไอดีต่อซีไอดีก็มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลด้วยเช่นกัน ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนแอนแอโรบิก โดยกรดไขมันระเหยง่ายนี้ก็คืออาร์บีซีไอดี สำหรับสารอาหารที่ใช้ในการทดลองจะใช้โซเดียมอะซิเตต(sodium acetate)และนิวเทรียนต์บรธ(nutrient broth) โดยปริมาณสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะได้จากโซเดียมอะซิเตต ส่วนนิวเทรียนต์บรธจะใช้ในปริมาณที่ให้ค่าไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของเซลล์ ดังนั้นน้ำเสียสังเคราะห์จะอยู่ในรูปของอาร์บีซีไอดีเป็นส่วนใหญ่ โดยจากการทดลองหาค่าอัตราส่วนของบีไอดีต่อซีไอดีของโซเดียมอะซิเตตและนิวเทรียนต์บรธพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.88 และ 0.81 ตามลำดับ ในตอนเริ่มการทดลองกำหนดให้น้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าบีไอดีเท่ากับ 75, 150, 300 และ 600 มก./ล. เพื่อหาปริมาณของไนโตรเจนที่ใช้จากอัตราส่วนบีไอดีต่อไนโตรเจนเท่ากับ 100:3 หลังจากนั้นจะใช้ค่าซีไอดีแทนค่าบีไอดีในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าซีไอดีเท่ากับ 87, 173, 346 และ 693 มก./ล. และฟอสฟอรัสเท่ากับ 15 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนอาร์บีซีไอดีต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 6:1, 12:1, 24:1 และ 48:1 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นสารอาหารที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัสที่เติมเข้าไปภายหลังขั้นตอนแอนแอโรบิก โดยแบ่งออกเป็น 4 กรณีคือ ก) ในกรณีที่ปริมาณฟอสฟอรัสมากแต่มีปริมาณของสารอาหารอินทรีย์จำกัด (COD limiting) ข) ในกรณีที่กำหนดให้น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าอาร์บีซีไอดี 173 มก./ล. และฟอสฟอรัส 15 มก./ล. นั้น เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบกับน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีไอดีใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดดังกล่าวได้ ค) ในกรณีที่ปริมาณของสารอาหารอินทรีย์เทียบกับฟอสฟอรัสในอัตราส่วนที่เหมาะสมตามที่ Randall และคณะ (1992) ได้แนะนำไว้ และ ง) ในกรณีที่ปริมาณของสารอาหารอินทรีย์มากเกินไปเมื่อเทียบกับปริมาณของฟอสฟอรัส (C excess)

การทดลองนี้ประกอบด้วยชุดทดลอง 2 ชุด โดยชุดที่ 1 เป็นชุดควบคุม(Control, C)ซึ่งไม่มีการเติมออร์โทฟอสเฟตภายใต้ชั้นคอนแอนแอรบิก โดยในการวิจัยนี้จะทำการทดลองเฉพาะชุดควบคุมที่มีอัตราส่วนอาร์บีซีโอคือฟอสฟอรัสเท่ากับ 24:1 และ 48:1 ส่วนผลการทดลองของชุดควบคุมที่มีอัตราส่วนอาร์บีซีโอคือฟอสฟอรัสเท่ากับ 6:1 และ 12:1 นั้นจะอ้างอิงจากผลการทดลองจากงานวิจัยของบุญกร อมรวิทย์ (2542) ซึ่งทำวิจัยร่วมกันและทำในลักษณะเป็นโครงการย่อยจากโครงการแม่บทที่มี ศ.ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ เป็นหัวหน้าโครงการและจะเป็นผู้มองในภาพรวมของงานวิจัยย่อย 2 โครงการนี้ต่อไปอีกครั้ง ส่วนชุดที่ 2 เป็นชุดทดสอบ(Test unit, T)ซึ่งมีการเติมออร์โทฟอสเฟตภายใต้ชั้นคอนแอนแอรบิก เพื่อสังเกตและเปรียบเทียบการจับใช้ฟอสฟอรัสในชั้นคอนแอนโรบิกของทั้งสองชุดทดลอง โดยสำหรับชุดทดสอบจะทำการทดลองเพียงชุดที่มีอัตราส่วนซีโอคือฟอสฟอรัสเท่ากับ 6:1, 24:1 และ 48:1 เท่านั้น สำหรับแนวคิดในการทดลองเปรียบเทียบของแต่ละชุดทดลองนั้นแสดงในรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ส่วนลักษณะของน้ำเสียแสดงในตารางที่ 3.3

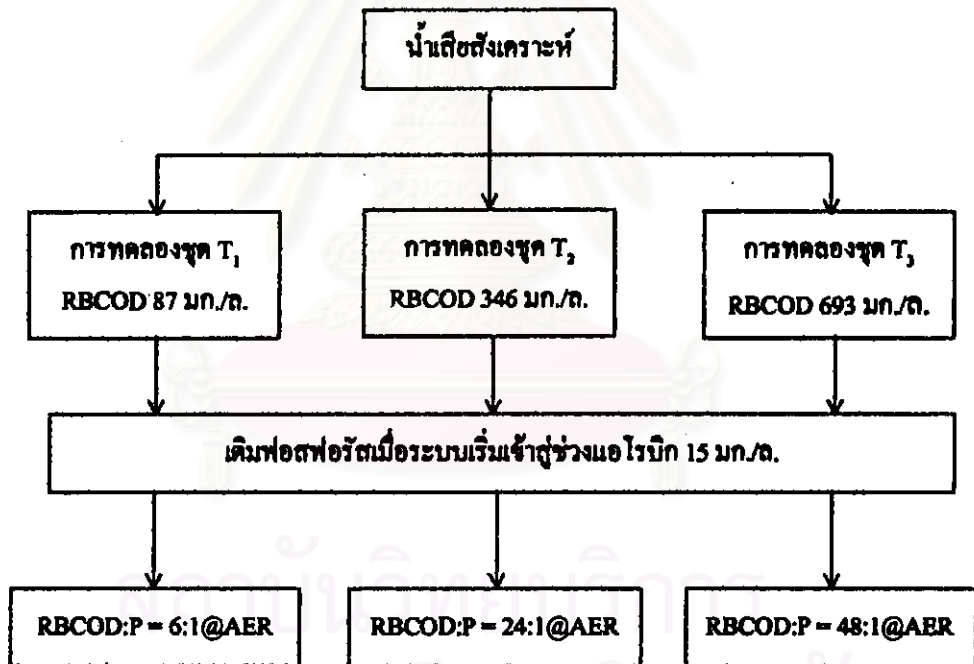
ชุดทดลองทั้งสองจะมีเวลาดักพักน้ำในแต่ละรอบการทำงานเท่ากับ 8 ชั่วโมง โดยจะแบ่งออกเป็นเวลาสำหรับเติมน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์รวมกับเวลาดักพักน้ำในช่วงแอนแอรบิก 2 ชั่วโมง เวลาดักพักน้ำในช่วงแอรบิก 4 ชั่วโมง เวลาดักพักน้ำในช่วงแอนออกซิก 1 ชั่วโมง 15 นาที และเวลาสำหรับการคกตะกอนและเวลาสำหรับการระบายน้ำใสส่วนบนทิ้งเท่ากับ 45 นาที

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองแบบแบตช์(batch test, B) โดยใช้สัณฐานจากชุดควบคุมที่ทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วมาทำการทดลอง ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้ นำของเหลวผสม (mixed liquor) ในถังปฏิกรณ์ของชุดควบคุมแต่ละชุดที่ผ่านชั้นคอนแอนแอรบิกแล้วมาแบ่งใส่ถังปฏิกรณ์ขนาดเล็ก โดยใช้ปริมาตรของสัณฐานในการทดลองแต่ละชุดเท่ากับ 1.25 ลิตร แล้วเติมฟอสฟอรัสในรูปแบบโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต( $KH_2PO_4$ ) ด้วยความเข้มข้นเท่ากับ 0, 22.5 และ 67.5 มก./ล. ตามลำดับ จากนั้นเติมอากาศจนกระทั่งค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่วัดได้มีค่าคงที่ โดยทำการเก็บตัวอย่างสัณฐานเพื่อทำไทเทรชันเพื่อเปรียบเทียบปริมาณของฟอสฟอรัสในระบบกับประสิทธิภาพในการจับใช้ฟอสฟอรัสของแต่ละชุดควบคุมซึ่งมีฟอสฟอรัสที่เติมหลังชั้นคอนแอนแอรบิกและปริมาณของอาร์บีซีโอคือฟอสฟอรัสในน้ำเสียดังเคราะห์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

กำหนดให้มีปริมาณของอาร์บีซีโอคือและฟอสฟอรัสในน้ำเสียดังเคราะห์ของชุดควบคุม และปริมาณของฟอสฟอรัสที่เติมหลังชั้นคอนแอนแอรบิก(เติมเมื่อเริ่มเข้าสู่ช่วงแอรบิก)ของชุดทดสอบและชุดทดลองแบบแบตช์ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยมีขั้นตอนการศึกษาวิจัยของแต่ละการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1

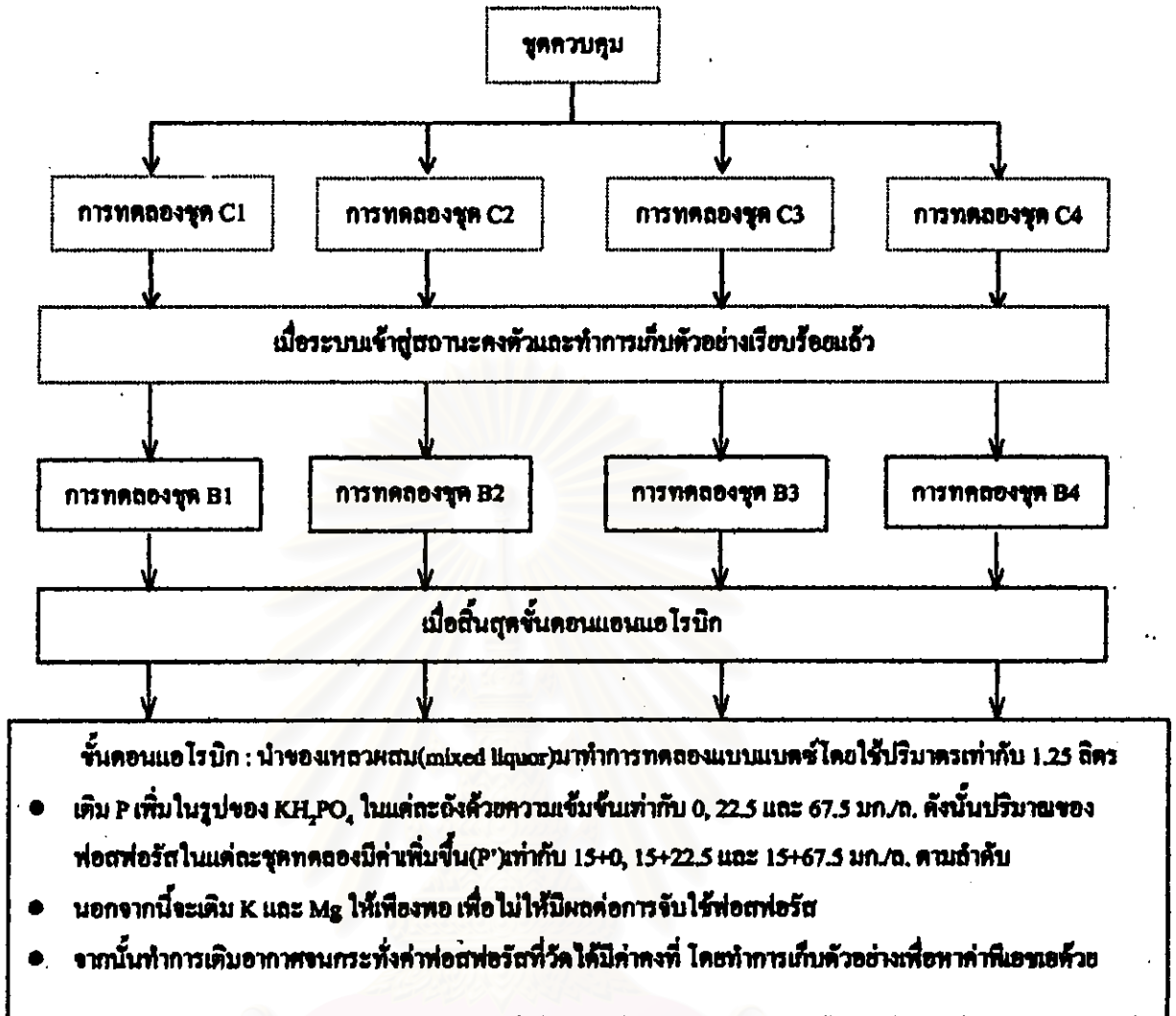


ก. ชุดควบคุม (Control, C)



ข. ชุดทดสอบ (Test unit, T)

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย



ก.) ชุดทดลองแบบแบคทีเรีย (Batch, B)

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย (ต่อ)

ตารางที่ 3.2 สรุปแนวคิดการเปรียบเทียบงานที่จะศึกษาในแต่ละชุดทดลอง

กรณี	การทดลอง	ข้อแตกต่างหรือข้อเปรียบเทียบ
1	C1 เทียบกับ C2, C3 และ C4	เป็นการมี C limiting (C1), ค่าซีโอดีของน้ำเสียชุมชน(C2), ทอดิ (C3) และ C excess (C4)
2	C1 เทียบกับ T <sub>1</sub>	ตำแหน่งการเติม 15 มก./ล.Pเท่ากับ ที่น้ำเสีย หรือ ที่จุดเริ่มของขั้นตอนแอนโรบิก
3	C3 เทียบกับ T <sub>1</sub>	เช่นเดียวกับกรณี 2 แต่แตกต่างกันที่อัตราส่วนของ RBCOD:P (C1 = C limiting แต่ C3 อยู่ในสภาวะเหมาะสม)
4	C4 เทียบกับ T <sub>1</sub>	เช่นเดียวกับกรณี 2 แต่แตกต่างกันที่อัตราส่วนของ RBCOD:P(C4 = C excess)
5	B1 เทียบกับ B2, B3 และ B4	การจับใช้ P และการใช้ PHA โดยมีการเติม P ที่ขั้นตอนแอนโรบิกด้วยความเข้มข้นที่ต่างกันและมีอัตราส่วนของ RBCOD:P แตกต่างกัน

ตารางที่ 3.3 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์และปริมาณของฟอสฟอรัสที่เติมเข้าถังแอโรบิก

ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์	ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เติม เมื่อเริ่มขั้นตอนแอโรบิก (มก./ล.)	อัตราส่วนของอาร์พีซีไอดี ต่อฟอสฟอรัสที่เติมทั้งหมด
1. สำหรับชุดควบคุม - อาร์พีซีไอดี 87 มก./ล., ฟอสฟอรัส 15 มก./ล. - อาร์พีซีไอดี 173 มก./ล., ฟอสฟอรัส 15 มก./ล. - อาร์พีซีไอดี 346 มก./ล., ฟอสฟอรัส 15 มก./ล. - อาร์พีซีไอดี 693 มก./ล., ฟอสฟอรัส 15 มก./ล.	- - - -	6:1 12:1 24:1 48:1
2. สำหรับชุดทดสอบ - อาร์พีซีไอดี 87 มก./ล., ฟอสฟอรัส 0 มก./ล. - อาร์พีซีไอดี 346 มก./ล., ฟอสฟอรัส 0 มก./ล. - อาร์พีซีไอดี 693 มก./ล., ฟอสฟอรัส 0 มก./ล.	15 15 15	6:1 24:1 48:1
3. สำหรับชุดทดลองแบบแบบค้ำ - อาร์พีซีไอดี 87 มก./ล., ฟอสฟอรัส 15 มก./ล. - อาร์พีซีไอดี 173 มก./ล., ฟอสฟอรัส 15 มก./ล. - อาร์พีซีไอดี 346 มก./ล., ฟอสฟอรัส 15 มก./ล. - อาร์พีซีไอดี 693 มก./ล., ฟอสฟอรัส 15 มก./ล.	0, 22.5 และ 67.5 <sup>a</sup> 0, 22.5 และ 67.5 <sup>b</sup> 0, 22.5 และ 67.5 <sup>c</sup> 0, 22.5 และ 67.5 <sup>d</sup>	6:1 <sup>a</sup> 12:1 <sup>a</sup> 24:1 <sup>a</sup> 48:1 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : a - อัตราส่วนของอาร์พีซีไอดีต่อฟอสฟอรัสในแต่ละชุดทดลองเมื่อเติมฟอสฟอรัสด้วยเท่ากับ 6:1, 2.3:1

และ 1.1:1 ตามลำดับ

b - อัตราส่วนของอาร์พีซีไอดีต่อฟอสฟอรัสในแต่ละชุดทดลองเมื่อเติมฟอสฟอรัสด้วยเท่ากับ 12:1, 4.6:1 และ 2.1:1 ตามลำดับ

c - อัตราส่วนของอาร์พีซีไอดีต่อฟอสฟอรัสในแต่ละชุดทดลองเมื่อเติมฟอสฟอรัสด้วยเท่ากับ 24:1, 9.2:1 และ 4.2:1 ตามลำดับ

d - อัตราส่วนของอาร์พีซีไอดีต่อฟอสฟอรัสในแต่ละชุดทดลองเมื่อเติมฟอสฟอรัสด้วยเท่ากับ 48:1, 18.5:1 และ 8.4:1 ตามลำดับ

e - อัตราส่วนของอาร์พีซีไอดีต่อฟอสฟอรัสเริ่มแรกของชุดควบคุมที่นำมาใช้ในชุดทดลองแบบแบบค้ำ

### 3.1.3 ตัวแปรตาม

ในการทดลองนี้ตัวแปรตามเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรอิสระ ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช เอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส เอสวี30 ซีไอดี ทีเคเอ็น ไนโตรค์ ไนเตรค ฟอสฟอรัส ละลาย ไออาร์ที สภาพค่าง ออกซิเจนละลาย ของแข็งแขวนลอย กรด ไบระเห่งง่าย และพีเอชเอ เป็นต้น



### 3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการเพื่อให้มีลักษณะตามต้องการสำหรับแต่ละชุดทดลอง สำหรับสารอาหารที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการศึกษาวิจัยนี้ จะใช้ไซเคียมอะซิเตดและนิวเทรียนด์บรธ โดยใช้ไซเคียมอะซิเตดเป็นแหล่งคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากในการทดลองนี้กำหนดให้มีไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของเซลล์เท่านั้น โดยกำหนดจากอัตราส่วนบีโอดีต่อไนโตรเจนเท่ากับ 100:3 ซึ่งในโครเจนที่มีในน้ำเสียได้มาจากนิวเทรียนด์บรธ จากเหตุผลดังกล่าวจึงต้องปรับสูตรน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ให้มีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 3.4 โดยวิธีคำนวณปริมาณสารต่างๆที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3.4 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในแต่ละชุดทดลอง

ส่วนประกอบ ของน้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้นของสารต่างๆ			
	ซีไอดี 87 มก./ล.	ซีไอดี 173 มก./ล.	ซีไอดี 346 มก./ล.	ซีไอดี 693 มก./ล.
1. $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (มก.ซีไอดี/ล.)	70	139	279	558
2. นิวเทรียนด์บรธ(มก.ซีไอดี/ล.)	17	34	67	135
3. ไนโตรเจน(มก. ไนโตรเจน/ล.)	2.25	4.5	9	18
4. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (มก./ล.)	1.70	3.37	6.68	13.52
5. $\text{NaHCO}_3$ (มก./ล.)	26.86	53.73	107.46	214.91
6. $\text{KH}_2\text{PO}_4$ (มก./ล.)	0 <sup>a</sup> , 67.1 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup> , 67.1 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup> , 67.1 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup> , 67.1 <sup>b</sup>
7. $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (มก./ล.)	29.6 <sup>(1)</sup> , 29.6 <sup>b</sup>	29.6 <sup>(1)</sup> , 29.6 <sup>b</sup>	29.6 <sup>(1)</sup> , 29.6 <sup>b</sup>	29.6 <sup>(1)</sup> , 29.6 <sup>b</sup>
8. $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (มก./ล.)	35.6 <sup>(2)</sup> , 35.6 <sup>b</sup>	35.6 <sup>(2)</sup> , 35.6 <sup>b</sup>	35.6 <sup>(2)</sup> , 35.6 <sup>b</sup>	35.6 <sup>(2)</sup> , 35.6 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: a, b = ฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ของชุดทดสอบและชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 0, 15 มก./ล. ตามลำดับ

(1) = เนื่องจากปริมาณของแมกนีเซียมที่แบกที่เรียต้องการขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสฟอรัสที่เข้าระบบ ดังนั้นถ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ไม่มีฟอสฟอรัส ปริมาณของแมกนีเซียมในน้ำเสียสังเคราะห์ก็จะไม่สามารถหาค่าได้ ดังนั้นจะกำหนดให้มีปริมาณของแมกนีเซียมในกรณีนี้เท่ากับในกรณีที่น้ำเสียสังเคราะห์มีฟอสฟอรัส 15 มก./ล. เพื่อให้มีปริมาณแมกนีเซียมเพียงพอต่อความต้องการของแบกที่เรีย

(2) = เหตุผลเดียวกับข้อ (1)

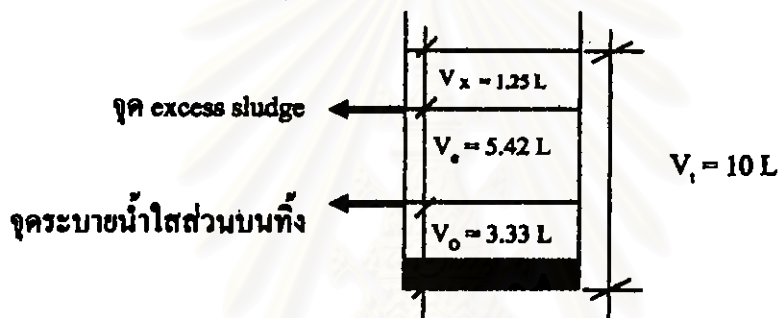
### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองจะใช้กระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก/เฮโรบิก โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง โดยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแต่ละชุดประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

### 3.3.1 อังปฏิริยา

#### 3.3.1.1 อังปฏิริยาที่ใช้สำหรับชุดควบคุมและชุดทดสอบ

อังปฏิริยาที่ใช้ในการวิจัยนี้จะทำจากวัสดุที่เป็นอะคริลิกใส โดยอังปฏิริยามีขนาด  $20 \times 20 \times 40$  ซม. และมีปริมาตรใช้งานเท่ากับ 10 ลิตร จำนวน 3 ชุด ซึ่งใช้ในกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก/เอโรบิก และจะเจาะรูที่ข้างดังจำนวน 2 รู โดยจะใช้สำหรับระบายสลัดจ์ส่วนเกินที่จำนวน 1 รู ส่วนอีกรูนั้นจะใช้เป็นจุดระบายน้ำใต้วงขึ้นเพื่อให้อัตราส่วนน้ำที่ค่อน้ำเหลือข้างดังเท่ากับ 2 ต่อ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2



- หมายเหตุ :  $V_x$  = ปริมาตรของสลัดจ์ส่วนเกินที่ระบายทิ้ง  
 $V_e$  = ปริมาตรของน้ำใต้วงขึ้นที่ระบายทิ้ง  
 $V_o$  = ปริมาตรของน้ำที่ค้างในถัง  
 $V_i$  = ปริมาตรทั้งหมดของอังปฏิริยาขณะเริ่มทำงาน

รูปที่ 3.2 ลักษณะของอังปฏิริยา

#### 3.3.1.2 อังปฏิริยาสำหรับชุดทดลองแบบแบคทีเรีย

อังปฏิริยาที่ใช้จะทำจากวัสดุอะคริลิกใส ลักษณะเป็นทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 25 ซม. โดยมีปริมาตรใช้งานเท่ากับ 1.25 ลิตร จำนวน 2 ใบ



### 3.3.2 ถังเก็บน้ำเสีย

ถังเก็บน้ำเสียเป็นถังพลาสติกขนาดความจุ 8 ลิตร จำนวน 3 ใบ ใช้สำหรับเก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบ โดยปริมาณของน้ำเสียที่ปล่อยให้ไหลเข้าสู่ถังปฏิกริยาเท่ากับ 6.67 ลิตรต่อ 1 วัฏจักรการทำงาน และมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

### 3.3.3 เครื่องเติมอากาศ

เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องเติมอากาศแบบเดียวกับที่ใช้ในตู้เลี้ยงปลาทั่วไปจำนวน 3 เครื่อง โดยใช้จำนวน 1 เครื่องต่อถังปฏิกริยา 1 ใบ และติดตั้งกระจายอากาศแบบหินพรุนที่ใช้ในตู้เลี้ยงปลา

### 3.3.4 เครื่องกวน

เครื่องกวนทำหน้าที่ผสมน้ำเสียให้มีการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์กับจุลินทรีย์โดยใช้จำนวน 3 เครื่อง (ถังละ 1 เครื่อง) ใบกวนที่ใช้ทำด้วยพลาสติก โดยกำหนดให้มีค่าความเร็วรอบประมาณ 150-200 รอบต่อนาที และความเร็วเคลื่อนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 100-150 วินาที<sup>1</sup>

### 3.3.5 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ใช้ในชุดทดลองแบบแบคซ์จำนวน 2 เครื่องมีความเร็วรอบ 150-200 รอบต่อนาที

### 3.3.6 ไมโครโปรเซสเซอร์

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆของระบบ ได้แก่ โซลินอยด์วาล์ว เครื่องกวน เครื่องเติมสารเคมี และเครื่องเติมอากาศ ให้เปิด-ปิด ตามเวลาที่ตั้งไว้ โดยใช้ยี่ห้อ MISUBISHI รุ่น Fxos-14MR-ES มีช่องสัญญาณเข้า 7 ช่องและช่องสัญญาณออก 5 ช่อง จำนวน 3 เครื่อง

### 3.3.7 โซลินอยด์วาล์ว

โซลินอยด์วาล์วทำหน้าที่เปิด-ปิดเพื่อระบายน้ำเสียเข้าในถังปฏิบัติการ ระบายน้ำโสส่วนบนทิ้ง โดยใช้จำนวน 6 ตัว (ถึงละ 2 ตัว) โดยใช้แบบโคอะเฟรม ยี่ห้อ UNI-D รุ่น UW-15 ขนาด ORIFICE IS ใช้ไฟ 220 V. ขนาดท่อ  $\frac{1}{2}$  นิ้ว ใช้ความดันในการทำงาน 0.5 กก./ลบ.ซม.

### 3.3.8 ถังรองรับน้ำทิ้งและสตัดจ์ส่วนเกิน

ถังรองรับน้ำทิ้งและสตัดจ์ส่วนเกินจะใช้ถังพลาสติกจำนวน 6 ใบ สำหรับรองรับน้ำทิ้งและสตัดจ์ส่วนเกินในแต่ละระบบ

### 3.3.9 วาล์วสำหรับระบายสตัดจ์ส่วนเกินทิ้ง

การระบายสตัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบนั้นจะทำการระบายออกวันละ 1 ครั้งๆละ 1.25 ลิตร โดยการเปิดวาล์วที่ติดตั้งเอาไว้ที่จุดระบายสตัดจ์ส่วนเกิน

หมายเหตุ : ที่เป็นเช่นนี้เพราะหากมีการระบายสตัดจ์ส่วนเกินออกทุกๆวัฏจักรของการทำงาน ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณน้ำในถังปฏิบัติการเท่ากับ 10 ลิตร ค่าอายุสตัดจ์เท่ากับ 8 วัน การทำงานของระบบมี 3 วัฏจักรต่อวัน ดังนั้นต้องระบายสตัดจ์ส่วนเกินทิ้งในแต่ละวัฏจักรเท่ากับ  $(10/8)/3 = 0.42$  ลิตร ซึ่งเมื่อทำการเก็บตัวอย่างเพื่อทำไทเทรตของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ปริมาณของน้ำตัวอย่างที่ใช้จะมีค่าเกินปริมาณของสตัดจ์ที่ต้องระบายทิ้งในแต่ละวัฏจักร ดังนั้นจึงทำการระบายสตัดจ์ส่วนเกินทิ้งเพียง 1 ครั้งต่อวัน และจะทำการเก็บตัวอย่างในวัฏจักรนั้น ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ปริมาณของน้ำตัวอย่างที่เก็บมีค่าเกินปริมาณของสตัดจ์ที่ต้องระบายทิ้งในหนึ่งวัน

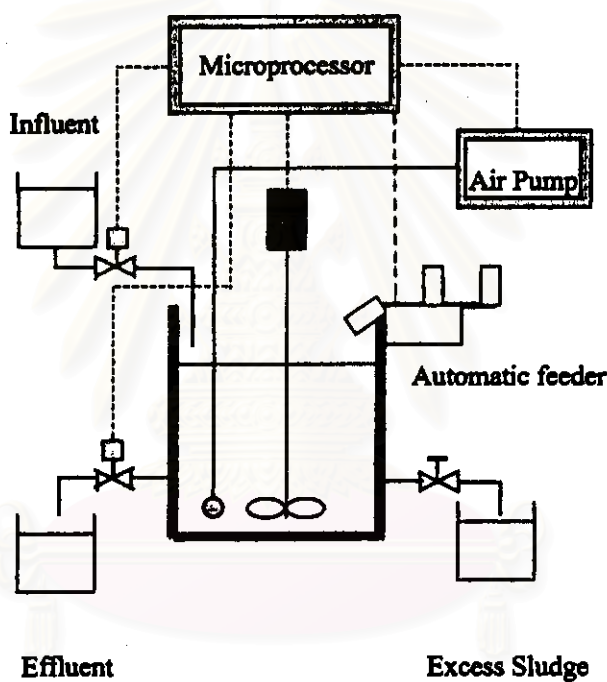
### 3.3.10 ชุดเติมสารเคมีอัตโนมัติ (Automatic feeder)

ใช้สำหรับเติมสารละลายฟอสฟอรัสที่ละลายขึ้นคอนแอนแอโรบิกสำหรับการทดลองของชุดทดสอบจำนวน 3 ชุด โดยชุดเติมสารเคมีนี้ประกอบด้วยบีกเกอร์ขนาด 100 มล. จำนวน 3 ใบ และมอเตอร์สำหรับหมุนบีกเกอร์ให้เติมสารละลายฟอสฟอรัสที่เตรียมไว้ลงในถังปฏิบัติการตามการควบคุมของไมโครโปรเซสเซอร์

### 3.4 การติดตั้งเครื่องมือและการควบคุมการทำงาน

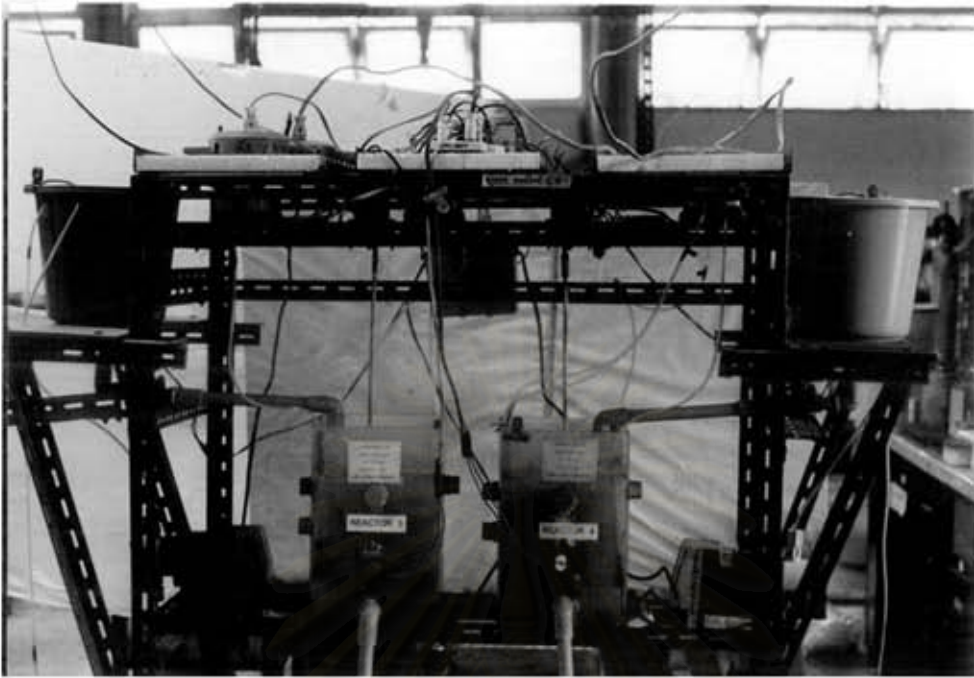
#### 3.4.1 การติดตั้งเครื่องมือ

ในการศึกษาวิจัยนี้ จะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งลักษณะการติดตั้งเครื่องมือของกระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก/เอโรบิกแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยการติดตั้งอุปกรณ์ของชุดทดลองแสดงดังภาพที่ 3.1 และการติดตั้งชุดทดลองแบบแบคซ์แสดงดังรูปที่ 3.4

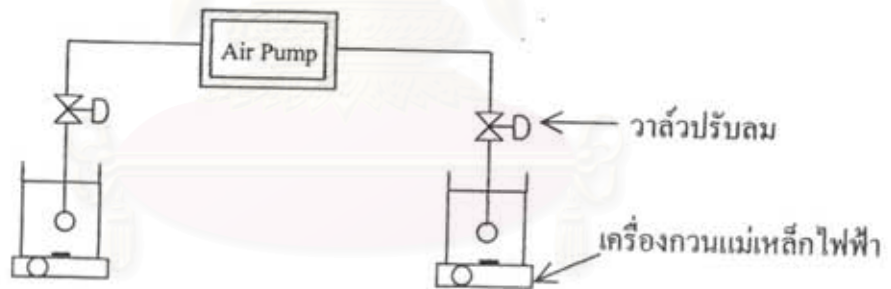


รูปที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือของกระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก/เอโรบิกในแต่ละชุดทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ของชุดทดลอง



รูปที่ 3.4 การติดตั้งชุดทดลองแบบแบคซ์

สงวนลิขสิทธิ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4.2 การควบคุมการทำงาน

ชุดทดลองนี้มีลำดับขั้นและเวลาในการทำงานแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 3.5 ลำดับขั้นและเวลาในการทำงานของระบบ

ช่วงที่	การทำงานของระบบ	ระยะเวลาในการทำงานในแต่ละช่วง
1	เติมน้ำเสีย + แอนแอโรบิก	2 ชั่วโมง
2	เติมสารละลายฟอสฟอรัส*	เมื่อเริ่มขึ้นตอนแอโรบิก*
3	แอโรบิก	4 ชั่วโมง
4	ตกตะกอน	40 นาที
5	ระบายน้ำใสส่วนบนทิ้ง	5 นาที
6	แอนออกซิก	1 ชั่วโมง 15 นาที
รวมระยะเวลาในการทำงานของระบบใน 1 วัฏจักร		8 ชั่วโมง

หมายเหตุ : \* สำหรับเฉพาะกรณีชุดทดสอบที่มีการเติมฟอสฟอรัสที่ปลายช่วงแอนแอโรบิกเท่านั้น

ชุดควบคุมการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์จะสั่งให้ระบบทำงานตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ตั้งเปิดวาล์วน้ำเข้าเพื่อเติมน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์พร้อมกับตั้งเปิดเครื่องกวนเพื่อกวนน้ำในถังให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์กับจุลินทรีย์ในช่วงแอนแอโรบิก
2. ตั้งเปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงแอโรบิก(ในกรณีของชุดทดสอบตั้งให้เครื่องเติมสารเคมีเติมสารละลายฟอสฟอรัสพร้อมกับการตั้งเปิดเครื่องเติมอากาศ)
3. ตั้งปิดเครื่องเติมอากาศและปิดเครื่องกวนเพื่อให้ตกตะกอน
5. ตั้งเปิดวาล์วระบายน้ำใสส่วนบนทิ้ง
6. ตั้งเปิดเครื่องกวนเพื่อกวนน้ำในถังให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์กับจุลินทรีย์ในช่วงแอนออกซิก

Randall และคณะ (1992) พบว่าถ้ามีไนเตรดในช่วงแอนแอโรบิกไนเตรดจะถูกใช้เป็นสารรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน ทำให้ไม่เกิดการกระบวนการหมักคาร์บอนอินทรีย์ในรูปต่างๆจะไม่ถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งทำให้ไม่เกิดการกำจัดฟอสฟอรัส ดังนั้นจึงควรควบคุมไม่ให้มีไนเตรดในช่วงแอนแอโรบิก ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการกวนสลัดจ์ให้เกิดสภาพแอนออกซิกต่อจากขั้นตอนที่มีการระบายน้ำ

ใตส่วนบนทิ้งไปแล้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที เพื่อกำจัดไนเตรดที่เกิดขึ้นจากชั้นตอนแอโรบิกให้เหลือน้อยลง และทำให้เกิดสภาพแอนแอโรบิกที่แท้จริง

### 3.5 การเก็บแอะการวิเคราะห์ตัวอย่าง

#### 3.5.1 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างแต่ละจุด จะเก็บตัวอย่างที่ปลายของแต่ละช่วงเวลา ยกเว้นการเก็บตัวอย่างเพื่อการวัดเอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และเอสวี30 จะเก็บตัวอย่างก่อนระบาศถัณฑ์ส่วนเกินทิ้ง และสำหรับชุดควบคุมหลังจากได้ข้อมูลเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วจะทำการเก็บค่าซีไอดี, กรดไขมันระเหยง่าย, เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส, คะกอนแขวนลอย, เอสวี30, ฟอสฟอรัส และพีเอชเป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน(ซึ่งจะใช้เป็นค่าเฉลี่ยที่สถานะคงตัว) ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ทีเอช, ออกซิเจนละลาย, ไออาร์ที, ทีเคเอ็น, ไนโตรเจน และไนเตรด เป็นต้น จะใช้ค่าเฉลี่ยจากช่วงสถานะคงตัวจากนั้นจึงทำการผลโพรไฟล์ค่าไออาร์ที, ออกซิเจนละลาย, ซีไอดี, ฟอสฟอรัส, กรดไขมันระเหยง่าย, และพีเอชเอ เทียบกับเวลาการเดินระบบด้วย

ส่วนชุดทดสอบนั้นจะใช้ค่าทีเอช, ไออาร์ที และออกซิเจนละลายที่เก็บผลครั้งสุดท้ายก่อนการเก็บผลโพรไฟล์ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของชุดควบคุม ส่วนพารามิเตอร์ที่ไม่มีผลต่อการทำงานของระบบมากนัก เช่น สภาพค่า, ทีเคเอ็น, ไนโตรเจน และไนเตรด จะเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียว ส่วนค่าเอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และซีไอดีจะทำการเก็บผลในวันที่เก็บตัวอย่างแบบโพรไฟล์ด้วย สำหรับชุดทดสอบจะทำการเก็บโพรไฟล์เมื่อค่าฟอสฟอรัสที่สถานะต่างๆในระบบเริ่มมีค่าคงที่ โดยทำการเก็บตัวอย่างโพรไฟล์เฉพาะค่าไออาร์ที, ออกซิเจนละลาย, ฟอสฟอรัส และพีเอช ส่วนค่าซีไอดีจะเก็บเฉพาะน้ำเข้า, ที่เวลา 5 นาทีของช่วงแอนแอโรบิก, ปลายช่วงแอนแอโรบิก และปลายช่วงแอโรบิก สำหรับการเก็บตัวอย่างจะเก็บตามตำแหน่งต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.6

ข้อมูลผลการทดลองของชุดควบคุม ชุดทดลองแบบเบตซ์ และชุดควบคุมแสดงในภาคผนวก ข.



ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์และควมถี่ที่จะวิเคราะห์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

พารามิเตอร์	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย					
	น้ำเข้า	T-5 นาที	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก	แอนออกซิก
อุณหภูมิ	-	-	D	D	-	D
พีเอช	D	I	D	D	D	D
สภาพค่า(กรอง)	I	I	I	I	I	-
ไออาร์ที	-	I	3/W,P	3/W,P	-	3/W,P
ออกซิเจนละลาย	I	I	D/P	D/P	-	D,P
เอสเอส	I	-	-	-	2/W,S/S	-
เอ็มแอลเอสเอส	-	-	-	2/W,S/S	-	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	-	-	-	2/W,S/S	-	-
เอสวี 30 และ เอสวีไอ	-	-	-	2/W,S/S	-	-
ซีไอดีทั้งหมด	2/W	-	-	-	S/S	-
ซีไอดีกรอง	-	I	2/W,S/S,P	2/W,S/S,P	-	-
กรดไขมันระเหยง่ายกรอง	I	I	I,S/S,P	I,S/S,P	-	-
พีเอชเอ	-	-	I,S/S,P	I,S/S,P	-	-
ทีเคเอ็นกรอง	I	I	I	I	-	-
ไนโตรเจนกรอง	-	I	I	I	-	I
ไนโตรเจนกรอง	-	I	I	I	-	I
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	2/W	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัสกรอง	-	I	2/W,S/S,P	2/W,S/S,P	-	-
ฟอสฟอรัสในเซลล์	-	-	-	S/S	-	-
SPRR (มก. ฟอสฟอรัส/ ก. นีออสต-นาที)	-	-	S/S	-	-	-
SPUR (มก. ฟอสฟอรัส/ ก. นีออสต-นาที)	-	-	-	S/S	-	-

หมายเหตุ : D = วิเคราะห์ทุกวัน (daily)

2/W = วิเคราะห์ 2 วันต่อสัปดาห์

S/S = วิเคราะห์เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว 5 วันติดต่อกัน

P = โพรไฟล์ วิเคราะห์เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว

I = วิเคราะห์เป็นระยะๆ (intermittent) ตามความจำเป็น

### 3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของตัวอย่าง จะใช้ตามวิธีวิเคราะห์จากหนังสือ คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย(พ.ศ. 2540) และหนังสือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ปี 1995 ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	หมายเหตุ
พีเอช	pH meter	Horiba รุ่น F-13
อุณหภูมิ	Thermometer	-
กรดระเหยง่าย	Titration method	กรองก่อนด้วย GF/C filter, pore size 1.2 ไมครอน
ออกซิเจนละลาย	DO meter	YSI Model 52
โออาร์พี	ORP meter	Radiometer รุ่น PHM80, Silver Electrode
เอสเอส	GF/C filter	ขนาด 4.7 ซม., pore size 1.2 ไมครอน
เอ็มแอลเอสเอส	GF/C filter	ขนาด 4.7 ซม., pore size 1.2 ไมครอน
เอสวี30	Volumetric method	-
เอสวีไอ	Calculation	-
ซีไอดีทั้งหมด	Dichromate Close Reflux method	-
ซีไอดีกรอง	Dichromate Close Reflux method	กรองก่อนด้วย GF/C filter, pore size 1.2 ไมครอน
กรดไขมันระเหยง่าย*	Gas Chromatography method	กรองก่อนด้วย GF/C filter, pore size 1.2 ไมครอน
พีเอชเอ(ไนเซลด)*	Gas Chromatography method	สกัดด้วยคลอโรฟอร์ม
ทีเคเอ็น	Digestion and Titration method	กรองก่อนด้วย GF/C filter, pore size 1.2 ไมครอน
ไนโตรเจน	Spectroquant analysis	กรองก่อนด้วย GF/C filter, pore size 1.2 ไมครอน
ไนเตรด	Spectroquant analysis	กรองก่อนด้วย GF/C filter, pore size 1.2 ไมครอน
ฟอสฟอรัสกรอง	Vanadomolybdo-Phosphoric acid method	กรองก่อนด้วย 0.45 µm filter
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Vanadomolybdo-Phosphoric acid method	-
เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสไนเซลด	Calculation	(ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในของเหลวผสม - ค่าฟอสฟอรัสกรอง) / ปริมาณเอ็มแอลเอสเอส

หมายเหตุ : \* วิธีวิเคราะห์ค่ากรดไขมันระเหยง่ายแสดงในภาคผนวก ก.

\*\* วิธีวิเคราะห์หาค่าพีเอชเอไนเซลดแสดงในภาคผนวก ง.