บทที่ 3
แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟของน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์แบบแอโรบิกและบีพีอาร์ ที่มีระยะเวลาแอนแอโรบิกและความเข้มข้นของสีและสารอาหารแตกต่างกัน

ตัวแปรที่พิจารณาในการทดลองนี้แบ่งเป็น 3 แบบคือ ตัวแปรกำหนด (fixed variables) ตัวแปรอิสระ (independent variables) และตัวแปรตาม (dependent variables)

3.1.1 ตัวแปรกำหนด

ตัวแปรกำหนดที่ต้องการให้คงที่ ได้แก่

- ขนาดของถังปฏิกิริยา กว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. สูง 50 ซม. ระยะความสูงน้ำในถัง 40 ซม. โดยมีระยะ freeboard 10 ซม.

- ปริมาตรน้ำในถังทั้งหมด 16 ลิตร เป็นปริมาตรน้ำเข้าถังต่อรอบ 10.6 ลิตร ปริมาตรน้ำค้างในถังหลังจากระบายน้ำใสออกแล้วเท่ากับ 5.4 ลิตร หรือคิดเป็นระดับน้ำค้างในถังเท่ากับ 13.5 ซม. อัตราส่วนน้ำเข้าต่อน้ำค้างในถังเท่ากับ 2:1

-อายุสลัดจ์ของระบบเท่ากับ 8 วัน และเวลาครบรอบวัฏจักรเท่ากับ 12 ชั่วโมง สลัดจ์ส่วนเกินที่ต้องระบายออกเท่ากับ 2 ลิตร/วัน หรือเท่ากับ 1 ลิตร/รอบวัฏจักร คิดเป็นระดับน้ำในถังที่ต้องระบายออกเท่ากับ 2.5 ซม.

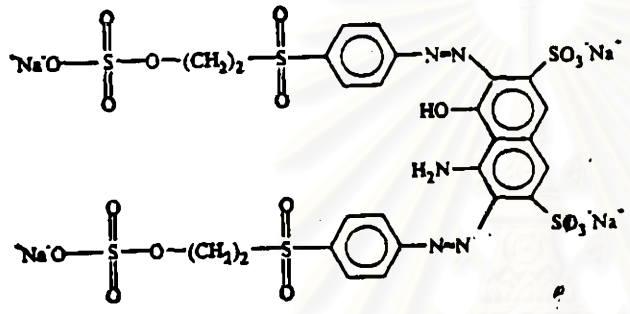
-ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่จะใช้ในการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

ซีโอดี	500	มก./ล.
ไนโตรเจน	50	มก./ล.
ฟอสฟอรัส	15	มก./ล.

คิดเป็นอัตราส่วน COD:N:P = 100:10:3 เพื่อกระตุ้นให้เกิดเป็นอีบีพีอาร์มากๆ

3.1.2 ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระที่ศึกษาคือ ความเข้มข้นของสี โดยสีที่ใช้คือสี Remazol Black B ซึ่งเป็นสีรีแอกทีฟชนิดไดอะโซ สูตรโครงสร้างของสีแสดงในรูปที่ 3.1 ทำการทดลองที่ความเข้มสี 3 ค่าคือ 10, 40 และ 80 mg/l ตัวแปรอิสระตัวที่สองคือเวลาที่ใช้ในช่วงแอนแอโรบิก โดยทำการทดลองที่ระยะเวลาแอนแอโรบิก 4 ค่าคือ 0(ระบบแอโรบิก), 2, 4 และ 8 ชั่วโมง(ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก) ตัวแปรอิสระตัวที่สามคือสารอาหาร โดยเปรียบเทียบระหว่างกลูโคสและนิวเทรียนบรอทกับโซเดียมอะซิเทตและนิวเทรียนบรอท รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างของสี Remazol Black B

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดแต่ละชุดการทดลอง

RUN		เวลาในช่วง(ชม.)		สารอาหาร*	สี	ระบบ	จุลชีพที่คาด
NO	CODE	ANA	AER		mg/l		
1	AER-GL-10	0	11	GL+NB	10	AER	OHO
2	AER-GL-40				40		
3	ANA2-GL-10			GL+NB	10		GAO
4	ANA2-SA-10	2	9	SA+NB	10		PAO
5	ANA2-GL-40			GL+NB	40	ANA-AER	GAO
6	ANA4-SA-10				10		
7	ANA4-SA-40	4	7	SA+NB	40		PAO
8	ANA4-SA-80				80		
9	ANA8-SA-10	8	3	SA+NB	10		

สรุปการเปรียบเทียบจากตารางที่ 3.1 ได้ดังนี้คือ

- เปรียบเทียบความเข้มสี	ชุดทดลองที่	1 กับ 2; 3 กับ 5; 6 กับ 7 และ 8
- เปรียบเทียบระยะเวลาช่วงแอนแอโรบิก	ชุดทดลองที่	4 กับ 6 และ 9
- เปรียบเทียบสารอาหาร	ชุดทดลองที่	3 กับ 4

หมายเหตุ

- อัตราส่วนของสารอาหารทั้งสองชนิดคือ กลูโคส+นิวเทรียนบรอท (GL+NB) หรือโซเดียมอะซิเทต+นิว เทรียนบรอท (SA+NB) เท่ากับ 250:250 มก./ล.ในหน่วยวัดซีโอดี
- สารอาหารชุดที่ 3 และ 5 ที่ใช้กลูโคสและนิวเทรียนบรอทเพราะต้องการกำหนดให้ระบบไม่เป็นบีพีอาร์(BPR-Biological Phosphorus Removal) โดยจะให้เป็นเพียงระบบแอนแอโรบิก+แอโรบิกที่ไม่มีจุลชีพ Phosphate Accumulating Organism(PAO) แต่ให้เป็น Glycogen Accumulating Organism(GAO) อย่างไรก็ตามในการทดลองจริงไม่สามารถบังคับระบบไม่ให้เป็นบีพีอาร์ได้ ชุด ANA2 จึงเป็นบีพีอาร์และจุลชีพในระบบจึงเป็น PAO ไม่ใช่ GAO ดังคาด, ส่วนชุด ANA4 และ ANA8 ต้องการให้เป็นระบบบีพีอาร์จึงใช้เฉพาะโซเดียมอะซิเทตกับนิวเทรียนบรอทเป็นสารอาหาร โดยสรุปการทดลองเหล่านี้ส่วนหนึ่งจึงเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างระบบแอโรบิกและระบบบีพีอาร์ที่ใช้สารอาหารต่างชนิดและมีเวลาแอนแอโรบิกที่ต่างกันแทน

3.1.3 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตามที่จะต้องวิเคราะห์คือ สมรรถนะภาพการกำจัดสี, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, การลดลงของค่าซีโอดีและลักษณะต่างๆของน้ำเสีย ซึ่งพารามิเตอร์ที่จะทำการวัดในแต่ละกระบวนการแสดงอยู่ในตารางที่ 3.4

3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ลักษณะน้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ มีค่าซีโอดี 500 มก./ล. ทีเคเอ็น 50 มก./ล. และฟอสฟอรัส 15 มก./ล. โดยมีส่วนประกอบของน้ำเสียแสดงในตารางที่ 3.2 และมีตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ค

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์

ส่วนประกอบ	ความเข้มข้น (มก./ล.)
กลูโคส*	263 (250 ในรูป COD)
โซเดียมอะซิเทต (CH_3COONa)*	543 (250 ในรูป COD)
นิวเทรียนบรอท	263 (250 ในรูป COD, 33 ในรูป N, 2.5 ในรูป P)
$(NH_2)_2CO$	36.8 (17 ในรูป N)
KH_2PO_4	55.4 (12.5 ในรูป P)
$NaHCO_3$	300 (216 ในรูปหินปูน)
$FeCl_3$	7.3 (2.5 ในรูป Fe)
$CaCl_2$	21 (7.5 ในรูป Ca)
$MgSO_4.7H_2O$	38 (3.75 ในรูป Mg)

* อย่างใดอย่างหนึ่ง

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

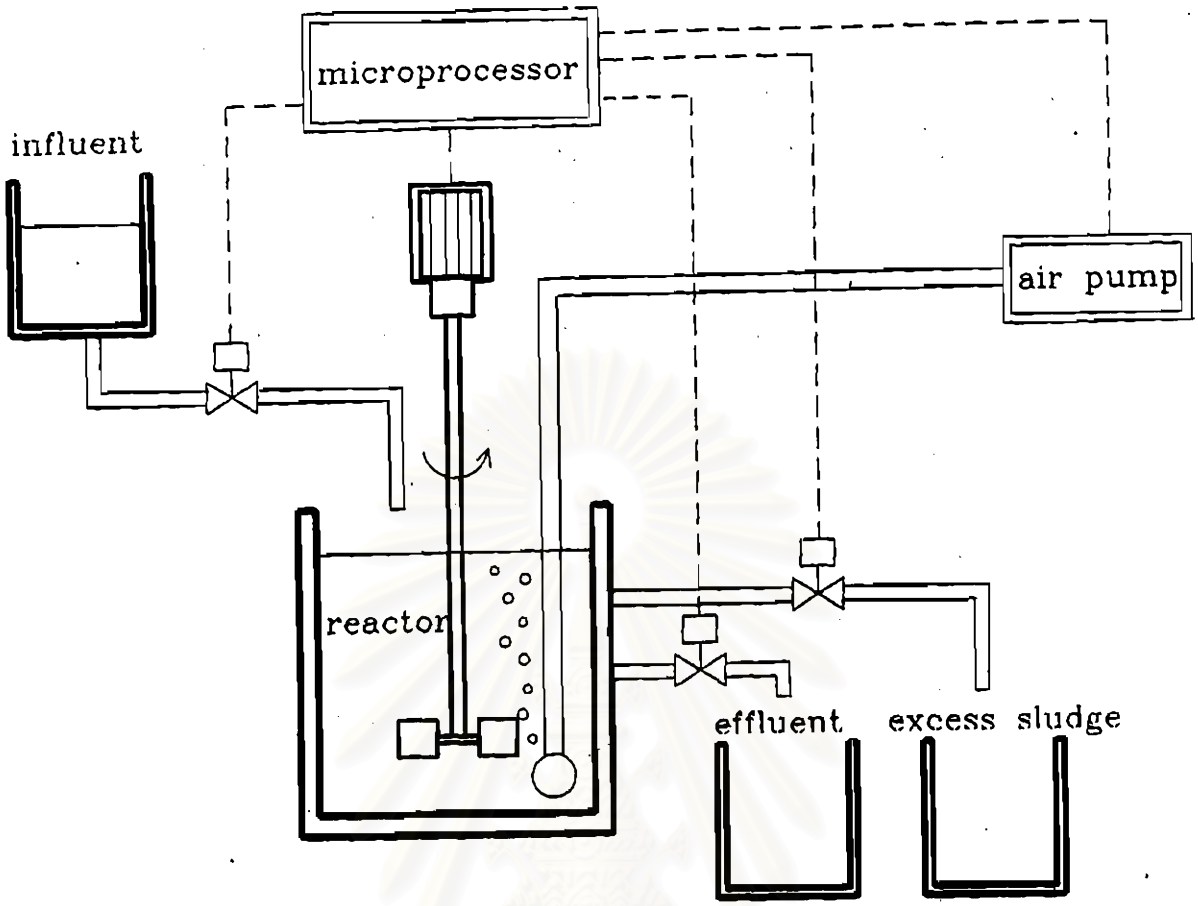
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละการทดลองจะประกอบด้วยอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3

3.3.1 ถังเก็บน้ำเสีย

ถังเก็บน้ำเสียเป็นถังพลาสติกขนาดจุ 15 ลิตร สำหรับเก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบ ปริมาณน้ำเสียที่ถูกปล่อยให้ไหลเข้าถังปฏิกิริยาเท่ากับ 10.6 ลิตรต่อ 1 วัฏจักรการทำงาน โดยเจาะรูที่ข้างถังและมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดของโซลีนอยด์วาล์ว และถังพลาสติกขนาดเดียวกัน สำหรับรองรับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ และถังพลาสติกขนาด 2 ลิตร รองรับสลัดจ์ส่วนเกินในแต่ละระบบ ถังเหล่านี้จะถูกทำความสะอาดก่อนนำมาใช้ในครั้งต่อไป

3.3.2 ถังปฏิกิริยา

ถังปฏิกิริยาเป็นถังอะคริลิกใสขนาด 20 x 20 x 50 ซม.^{3} ซึ่งใช้ในกระบวนการเอสบีอาร์แบบบีพีอาร์ โดยเจาะรูที่ข้างถังปฏิกิริยา 2 รู เป็นจุดที่จะทำการระบายสลัดจ์ส่วนเกิน 1 รู และระบายน้ำทิ้งอีก 1 รู เพื่อให้ได้อัตราส่วนน้ำทิ้งหรือน้ำเข้า(V_F)ต่อน้ำเหลือค้างถัง(V_0) เท่ากับ 2 ต่อ 1



รูปที่ 3.2 การติดตั้งเครื่องมือในแต่ละชุดการทดลอง

3.3.3 เครื่องกวน

เครื่องกวนในถังปฏิกิริยา ถังละ 1 ตัว ทำหน้าที่ผสมน้ำเสียให้มีการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์กับจุลินทรีย์ ใบกวนทำด้วยพลาสติกขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 10 ซม. ความเร็วเกรเดียนท์มีค่าประมาณ 190 วินาที$^{-1}$ (จินตนา, 2540) โดยใช้มอเตอร์ขับให้มีความเร็วรอบประมาณ 216 รอบต่อนาที

3.3.4 ปั๊มลม

ปั๊มลมที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบที่ใช้สำหรับเติมอากาศในตู้ปลาทั่วไป จำนวน 2 เครื่อง โดยติดหัวกระจายอากาศชนิดที่ใช้ในตู้เลี้ยงปลา ทั้งนี้ มีการตั้งเวลาการเติมอากาศสำหรับชุดทดลอง AER, ANA2 และ ANA4 ซึ่งเป็นระบบที่มีเวลาการเติมอากาศนานเกินพอ (7-11 ชั่วโมง) โดยจะตั้งเวลาโดยไมโครโปรเซสเซอร์โดยการปิดเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่องเพื่อลดปริมาณอากาศที่เติมในช่วงแอโรบิกในชั่วโมงที่ 8-11 ของรอบเพื่อไม่ให้ดีโอที่ช่วงปลายแอโรบิกมีค่าสูงเกินไปและเพื่อลดผลของดีโอที่จะมีต่อช่วงแอนแอโรบิกในรอบถัดไป

3.3.5 ไมโครโปรเซสเซอร์

ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นของ FUJI รุ่น FLEX-PC มีช่องนำสัญญาณเข้า (input ports) จำนวน 8 ช่อง และช่องนำสัญญาณออก (output ports) จำนวน 6 ช่อง ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ โซลีนอยด์วาล์ว เครื่องกวน และเครื่องเติมอากาศให้เปิด-ปิด ตามเวลาที่ตั้งไว้

3.3.6 โซลินอยด์วาล์ว

โซลินอยด์วาล์ว ทำหน้าที่เปิดและปิดเพื่อระบายน้ำในช่วงเติมน้ำเสียเข้าถัง ช่วงระบายสลัดจ์ส่วนเกิน และช่วงระบายน้ำใสส่วนบนออก วาล์วเป็นของ SANGI รุ่น WK-15 จำนวน 3 ตัว โดยเป็นแบบไดอะแฟรม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ตัวเรือนเป็นทองเหลือง มีช่วงความดันในการใช้งานได้ตั้งแต่ 0 - 10 กก/ตร.ซม.

3.3.7 อุปกรณ์อื่นๆ

อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ ท่อพีวีซีสำหรับเป็นทางเข้าและทางออกของน้ำทิ้งและสลัดจ์ส่วนเกิน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว

3.4 การควบคุมการทำงาน

ระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์แบบแอโรบิกและบีพีอาร์ในการวิจัยนี้ มีลำดับการทำงานและช่วงเวลาในการทำงานแต่ละช่วงดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ลำดับการทำงานและช่วงเวลาในการทำงานของระบบ

ช่วงที่	การทำงาน	ปฏิกิริยาในระบบ	ระยะเวลา
1	เติมน้ำเสีย	-	5 นาที
2	แอนแอโรบิก	การปล่อยฟอสฟอรัส	ขึ้นกับชุดทดลอง
3	แอโรบิก	ไนตริฟิเคชัน, การจับใช้ฟอสฟอรัส	ขึ้นกับชุดทดลอง
4	ระบายมวลจุลชีพส่วนเกิน	-	5 นาที
5	ตกตะกอน		55 นาที
6	ระบายน้ำใส		5 นาที

ชุดควบคุมการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์สั่งให้ระบบทำงานตามลำดับดังต่อไปนี้

1. สั่งเปิดวาล์วน้ำเข้า เพื่อเติมน้ำเสียเข้าถังปฏิกิริยา
2. สั่งเปิดเครื่องกวน กวนน้ำในถังในช่วงแอนแอโรบิก
3. สั่งเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงแอโรบิก
4. สั่งเปิดวาล์วระบายสลัดจ์ส่วนเกิน
5. สั่งปิดเครื่องกวน ให้สลัดจ์ในถังปฏิกิริยาจมตัว
6. สั่งเปิดวาล์วระบายน้ำใสส่วนบนออก

3.5 การเดินระบบ,เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำ

ผู้วิจัยเริ่มเดินระบบทำการเพาะเชื้อให้อุดมสมบูรณ์โดยเติมหัวเชื้อที่ได้มาจากสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยารวมกับเชื้อ PAO 2 สายพันธ์คือ *Psuedomonas fluorescens* (Timm และ Stienbuchel, 1990) และ *Acinetobactor culcoaceticus* (Ohtake และคณะ, 1985) ซึ่งมีรายละเอียดการเลี้ยงเชื้อ PAO และการเริ่มเดินระบบในภาคผนวก ง และ ฉ แล้วเดินระบบจนถึงสถานะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30-90 วัน จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำต่อเนื่องกันเป็นเวลา 5 วันและนำผลมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำตามเวลาหรือโพรไฟล์

3.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำจะถูกเก็บตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

การเก็บตัวอย่างแต่ละจุด จะเก็บตัวอย่างที่ปลายของแต่ละช่วงเวลา ยกเว้นการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดเอ็มแอลเอสเอส,เอ็มแอลวีเอสเอสและเอสวี30 จะเก็บตัวอย่างก่อนระบายสลัดจ์ส่วนเกินออก หลังจากได้ข้อมูลเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว จะทำโพรไฟล์ของสี, ซีโอดี, ทีเคเอ็น, ฟอสฟอรัส, พีเอชเอ รวมทั้งสภาพด่าง, ดีโอ และ ไออาร์พี เทียบกับเวลาการเดินระบบด้วย

3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทุกวิธีอ้างอิงใน Standard Methods (APHA, 1995) ส่วนพีเอชเอวัดโดยวิธี gas chromatography (GC method) (Lee และคณะ, 1995) โดยได้แสดงวิธีการวัดพีเอชเอในภาคผนวก จ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสีคือเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ใช้วัดสีออกมาในรูปของค่าเอ็บซอบแบนซ์ และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์ แล้วนำมาแสดงเป็นรูปกราฟระหว่างค่าแอบซอบแบนซ์กับความยาวคลื่น พื้นที่ใต้กราฟดังกล่าวจะนำมาคำนวณเป็นค่าสีในหน่วยเอสยู (space

unit, SU) (Gregor, 1992) ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์จะนำมาคำนวณออกมาเป็นค่าการวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI) (APHA, 1995) สีและฟอสฟอรัสในระบบวัดโดยกรองตัวอย่างน้ำก่อนด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน ส่วนเอสเอส, ซีโอดี และ ทีเคเอ็น วัดโดยกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรอง 1.2 ไมครอน ทั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้ทำการวัดไนไทรต์และไนเทรตเนื่องจากสีรบกวนการวัด โดยจะประเมินประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นแทนค่าไนโตรเจนทั้งหมด รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์และความถี่ที่จะวิเคราะห์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

พารามิเตอร์	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย			
	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	ออกซิก	น้ำออก
อุณหภูมิ	-	3/W,S/S	3/W,S/S	-
พีเอช	3/W,S/S	3/W,S/S	3/W,S/S	3/W,S/S
โออาร์พี	-	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	-
ออกซิเจนละลาย	-	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	-
เอสเอส	-	-	-	3/W,S/S
เอ็มแอลเอสเอส	-	-	3/W,S/S	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	-	-	3/W,S/S	-
เอสวี30	-	-	3/W,S/S	-
ซีโอดีทั้งหมด	3/W,S/S,P	-	-	-
ซีโอดีกรอง	-	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P
สภาพด่าง	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P
ทีเคเอ็น	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	3/W,S/S,P	-	-	-
ฟอสฟอรัสกรอง	-	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P
สีกรอง	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P	3/W,S/S,P
พีเอชเอ	-	P	P	-

หมายเหตุ ; 3/W = วิเคราะห์ 3 วันต่อสัปดาห์

S/S = วิเคราะห์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว 5 วัน แล้วคำนวณค่าเฉลี่ย

P = โพรไฟล์ วิเคราะห์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว

ตารางที่ 3.5 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
พีเอช	Electronic pH meter with glass electrode (ยี่ห้อ Horiba รุ่น F-13)
โออาร์พี	Electronic ORP meter with platinum electrode (ยี่ห้อ Radiometer รุ่น PHM 80)
อุณหภูมิ	Thermometer (ยี่ห้อ YSI รุ่น model 52)
ออกซิเจนละลาย	Membrane electrode (ยี่ห้อ YSI รุ่น model 52)
เอ็มแอลเอสเอส	GF/C drying at 103°C
เอ็มแอลวีเอสเอส	GF/C drying at 103°C
เอสเอสน้ำออก	GF/C drying at 103°C
เอสวี30	Gravitation
เอสวีไอ	Calculation
ซีโอดีทั้งหมด	Dichromate close reflux
ซีโอดีกรอง	Dichromate close reflux
สภาพด่าง	Titration
ทีเคเอ็น	Digestion and titration
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Vanadomolybdophosphoric acid colorimetric
ฟอสฟอรัสกรอง	Vanadomolybdophosphoric acid colorimetric
สี	Spectrophotometer (ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1201)
พีเอชเอ	Gas chromatography

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย