บทที่ 4

การวางแผนการวิจัย

4.1 แผนงานการวิจัย

4.1.1 แผนงานทั่วไป (General Planning)

งานวิจัยนี้ จะต้องจัดแผนงานการทดลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่วางไว้ การทดลองนี้กระทำที่ตึกวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล โดยได้จัดหาถังรูปทรงกระบอกใส เพิ่มเติมให้เพียงพอสำหรับการทดลอง เหตุที่ใช้ถังทรงกระบอกใส เป็นถังปฏิกิริยา เนื่องจากจะสามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงและความเป็นไปในถังได้ตลอดเวลา เช่น สามารถตรวจสอบลักษณะการกวนผสมบูรณ์ภายในถังได้ ตลอดจนสังเกตดูลักษณะการตกตะกอนได้ง่าย เป็นต้น เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ไม่ต้องการให้มีการระบายตะกอนทิ้งจากถังปฏิกิริยา ดังนั้นตลอดการทดลองจึงต้องระมัดระวังให้มีการสูญเสียตะกอนจากถังปฏิกิริยาให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีข้อดีในด้านที่เตรียมได้สะดวกและสามารถเตรียมให้มีค่าความเข้มข้นของซีโอดี ให้สอดคล้องกับความต้องการได้

วัฏจักรของการทดลอง เริ่มเวลา 16.00 น. ซึ่งจะทำการป้อนน้ำเสียและเติมอากาศไปพร้อมกันจนถึงเวลา 12.00 น. ของวันถัดไป แล้วจึงปล่อยให้ตกตะกอนและระบายน้ำทิ้งออกจากถัง และเมื่อถึงเวลา 16.00 น. จะเริ่มป้อนน้ำเสียและเติมอากาศอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งถือว่าครบ 1 วัฏจักรของการทดลอง

4.1.2 แผนงานการทดลอง

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงแผนการทดลองที่ใช้ในการวิจัย จะเห็นได้ว่า ค่าตัวแปรเปลี่ยนที่ต้องการศึกษามี 2 ตัว ได้แก่ เวลากักน้ำ (Detention time) และระดับความเข้มข้นของ ซีโอดี ในน้ำเสีย เวลากักน้ำที่จะศึกษามีทั้งหมด 6 ระดับ ได้แก่ 3, 5, 7, 9,11 และ 13 วัน ส่วนระดับของซีโอดีในน้ำเสียที่จะศึกษามีเพียง 3 ระดับ ได้แก่ 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ล. การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาถึงความสำคัญของเวลากักน้ำ มากกว่าความสำคัญของซีโอดีในน้ำเสีย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับของเวลากักน้ำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อการทำงานของระบบเอสบีอาร์ ทั้งนี้เพราะเวลากักตะกอน(Solid retention time) จะถูกปล่อยให้มีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้ผลการกำจัด ซีโอดี ที่ระดับต่าง ๆ ของเวลากักน้ำ

และเอ็มแอลวีเอสเอส ยังสามารถนำมาวิเคราะห์หาโมเดลทางจลน์ศาสตร์ของระบบเอสบีอาร์ได้ การเปลี่ยนแปลงระดับซีโอดีในน้ำเสีย จะช่วยยืนยันถึงความสำคัญของเวลากักน้ำ

ตัวแปรเปลี่ยนตาม (Dependent variables) ที่ต้องวัดและวิเคราะห์ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 ได้แก่ ซีโอดีในน้ำทิ้ง,เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส,ตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง, เอสวีไอ, พีเอช, ดีโอ, อุณหภูมิในถังเอสบีอาร์, ไนโตรเจนทั้งหมด, ฟอสฟอรัสทั้งหมด ฯลฯ ข้อมูลที่ได้จะถูกรวบรวมและจัดระเบียบด้วยการใช้ตารางและกราฟ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ถึงบทบาทของเวลากักน้ำและอื่น ๆ ได้ง่าย และสะดวกต่อการทำความเข้าใจ ข้อมูลบางส่วนจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลอง

การทดลองชุดที่	การทดลองที่	ตัวแปรเปลี่ยน	
		ซีโอดี ในน้ำเสีย, มก/ล.	เวลากักน้ำ, วัน
1	1.1	1,000	3
	1.2		5
	1.3		7
	1.4		9
	1.5		11
	1.6		13
2	2.1	2,000	3
	2.2		5
	2.3		7
	2.4		9
	2.5		11
	2.6		13
3	3.1	3,000	3
	3.2		5
	3.3		7
	3.4		9
	3.5		11
	3.6		13

ตารางที่ 4.2 ความถี่ในการวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์
พีเอช	ทุกวัน
ดีโอ	"
อุณหภูมิ	"
เอ็มแอลเอสเอส	"
เอ็มแอสวีเอสเอส	"
เอสวีไอ	"
ตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง	วันเว้นวัน
ซีโอดีในน้ำทิ้ง	"
ทีเคเอ็น	เป็นครั้งคราว
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	"

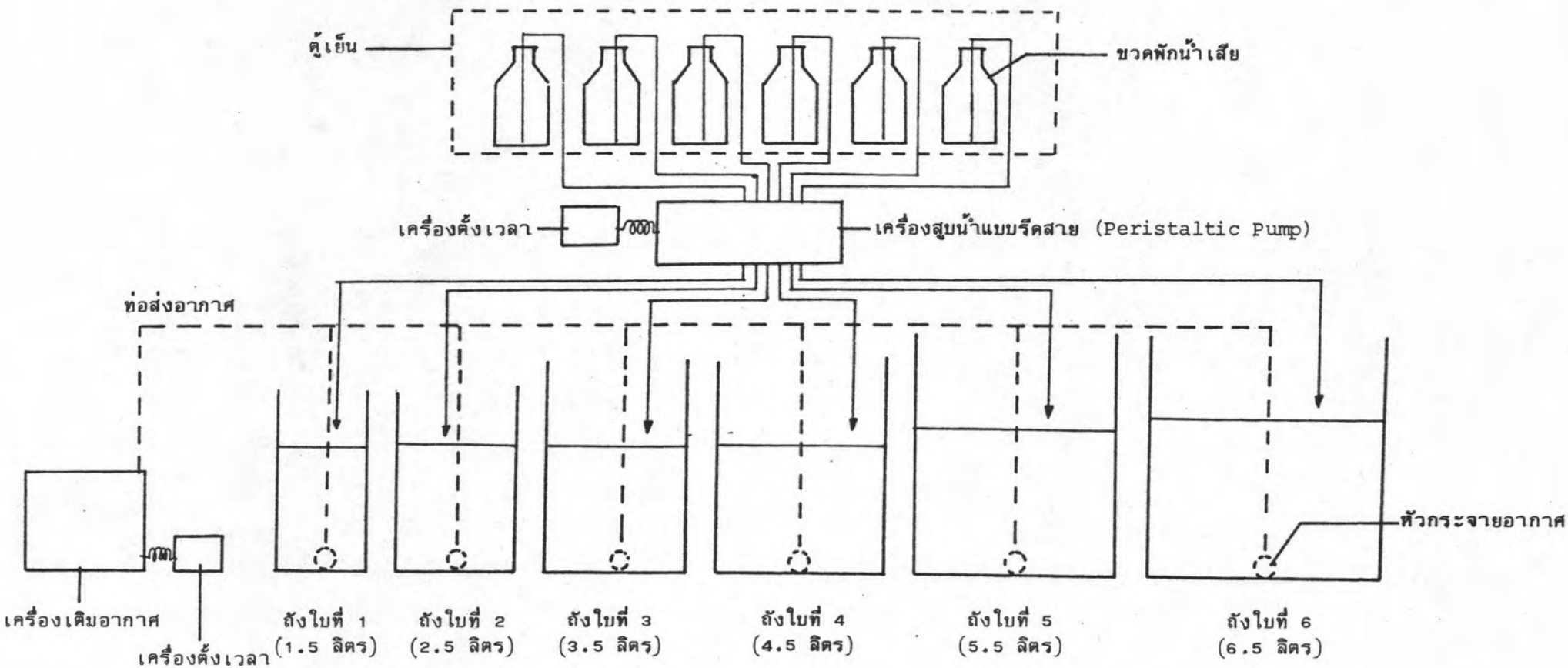
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองของระบบเอสบีอาร์นี้ มีลักษณะการทำงานเป็นแบบกวนสมบูรณ์โดยใช้การเติมอากาศ ถังปฏิกิริยาเป็นถังรูปทรงกระบอกใสรวมทั้งสิ้น 6 ใบ ซึ่งมีขนาดและความจุน้ำแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถังแต่ละใบทำหน้าที่เป็นทั้งถังเติมอากาศและถังตกตะกอน โดยจะทำการเติมอากาศเป็นเวลา 20 ชั่วโมงแล้วจึงปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง ก่อนที่จะระบายน้ำใส (น้ำทิ้ง)

น้ำเสียที่ใช้ทดลองจะถูกเก็บอยู่ในขวดแก้ว 6 ใบ ซึ่งมีความจุใบละ 0.5 ลิตร โดยจะถูกเก็บไว้ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 20 เซลเซียส น้ำเสียในแต่ละขวดจะถูกสูบไปยังถังปฏิกิริยาแต่ละใบอย่างเป็นอิสระต่อกัน เครื่องสูบน้ำจะถูกปรับอัตราการไหลให้สูบได้ 0.5 ลิตร ภายในเวลา 20 ชั่วโมงพอดี ซึ่งเป็นเครื่องสูบชนิดรีดสาย (Peristaltic pump) ผลิตโดยบริษัท Manostat แห่งสหรัฐอเมริกา

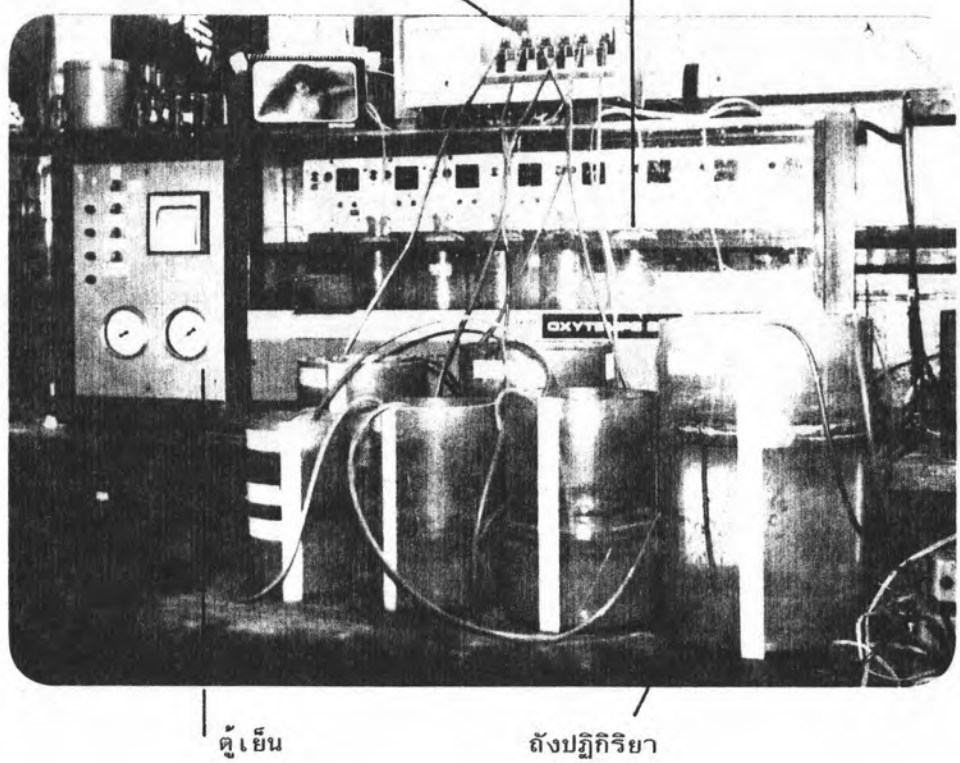
เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ National Air Pump, Model VS 40, Capacity 40 l/m ผลิตโดย Matsushita Electric works Co, LTD.แห่งประเทศญี่ปุ่น จำนวน 1 เครื่อง แล้วต่อท่อส่งอากาศแยกจนครบ 6 สาย แยกใช้งานในถังปฏิกิริยาแต่ละใบ โดยติดหัวกระจายอากาศ ชนิดที่ใช้ในตู้เลี้ยงปลาทั่ว ๆ ไป

การทำงานของเครื่องสูบน้ำและเครื่องเติมอากาศจะถูกควบคุมโดยเครื่องตั้งเวลา (Time switch) รุ่น TM - 24H ผลิตโดย Kawamura Electric Ind. Co, LTD.



ภาพที่ 4.1 แผนผังระบบ เอสบีอาร์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง (ช่วงตกตะกอน)

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการปฏิบัติงานของระบบ เอสบีอาร์

	ถังใบที่ 1	ถังใบที่ 2	ถังใบที่ 3	ถังใบที่ 4	ถังใบที่ 5	ถังใบที่ 6
ปริมาตรน้ำในถังปฏิกิริยา (มล.)	1,500	2,500	3,500	4,500	5,500	6,500
อัตราน้ำเสียที่ป้อน (มล/วัน)	500	500	500	500	500	500
อัตราน้ำทิ้งที่ระบาย (มล/วัน)	500	500	500	500	500	500
เวลากักน้ำของถัง (วัน)	3	5	7	9	11	13
ช่วงเวลาป้อนน้ำเสีย (ชม/วัน)	20	20	20	20	20	20
ช่วงเวลาเติมอากาศ (ชม/วัน)	20	20	20	20	20	20
ช่วงเวลาตกตะกอนและระบายน้ำทิ้ง (ชม/วัน)	4	4	4	4	4	4
วัฏจักรของการกำจัดน้ำเสีย (ครั้ง/วัน)	1	1	1	1	1	1

4.3 วิธีการทดลอง (Operating Procedure)

4.3.1 การเริ่มเลี้ยงตะกอน (Start up procedure)

ตะกอนแบคทีเรียที่เริ่มเลี้ยงแบ่งมาจากถังเลี้ยงตะกอนของ รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ซึ่งเริ่มเลี้ยงด้วยน้ำตาลทรายเป็นหลัก หลังจากนั้นนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณในถังแล้วด้วยวิธีแบบถังเทเป็นครั้งคราว (Batch) เป็นเวลาประมาณ 30 วัน จึงนำตะกอนทั้งหมดมากรองด้วยตะแกรงเหล็กเพื่อแยกส่วนที่มีขนาดใหญ่และเมือกออกไปตะกอนที่ ผ่านการกรองแล้วนำมาแบ่งเติมในถังปฏิกิริยาทั้ง 6 ใบ โดยประมาณให้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแต่ละถังมีค่าเท่ากับ 500 มก/ล. จากนั้นจึงเริ่มดำเนินการทดลองชุดที่ 1 ให้มีลักษณะตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.3 ตามลำดับ

4.3.2 การทดลองประจำวัน (Daily Operating Procedure)

1. ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ว่ายังคงอยู่ในสภาพเรียบร้อย เหมือนกับเมื่อวันก่อนหรือไม่
2. วัด ดีโอ และอุณหภูมิ ในถังปฏิกิริยาทุกใบ แล้วจดบันทึกไว้
3. แบ่งน้ำตะกอน (Mixed liquor) ส่วนหนึ่งไปสำหรับวิเคราะห์หา MLSS , MLVSS , SVI
4. เวลา 12.00 น. เครื่องตั้งเวลาจะควบคุมให้เครื่องสูบน้ำ และเครื่องเติมอากาศหยุดทำงานตะกอนจะเริ่มตกลงสู่ก้นถัง หลังจากปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมงแล้ว จึงถ่ายน้ำใสออกจากถังปฏิกิริยา
5. นำน้ำใส (น้ำทิ้ง) ไปวิเคราะห์หา พีเอช, ตะกอนแขวนลอย, ซีโอดี ฯลฯ
6. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic waste) ถ่ายใส่ขวดเก็บน้ำเสียเพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลองต่อไป
7. เวลา 16.00 น. (หลังจากที่ได้หยุดเครื่องสูบน้ำและเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้ว) เครื่องสูบน้ำและเครื่องเติมอากาศจะเริ่มทำงาน อันเป็นการเริ่มวัฏจักรของการทดลองอีกครั้งหนึ่ง
8. สำหรับบางวันหากพบว่าตะกอนเริ่มมีการผิดปกติ จะทำการตรวจสอบและบันทึกภาพไว้ด้วยกล้องจุลทัศน์ (Microscopic Examination)
9. หากมีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ เช่น เครื่องสูบน้ำชำรุดหรือหัวกระจายอากาศตัน ก็จะทำการซ่อมแซมแก้ไขให้เสร็จเรียบร้อยในช่วงที่ปล่อยให้ตก

ตะกอน

10. ก่อนออกจากห้องทดลอง ต้องตรวจสอบดูจนแน่ใจว่าระบบฯ ทั้งหมดอยู่ในสภาพที่ถูกต้อง

4.3.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic waste preparation)

น้ำเสียที่นำใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.4 โดยจะเตรียมส่วนประกอบเหล่านี้ให้อยู่ในรูปสารละลาย เพื่อความสะดวกในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ สารละลาย Bacto-peptone และน้ำตาลจะถูกเก็บไว้ในตู้เย็นตลอดเวลาจนกว่าจะนำมาใช้

ตารางที่ 4.4 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์

Components		COD, mg/L		
		1,000	2,000	3,000
Bacto-peptone	mg/L	220.34	440.68	660.9
Sugar	"	658.6	1317.2	1975.4
$MgSO_4$	"	56.25	112.5	168.7
$FeCl_3$	"	13.12	26.24	39.4
KH_2PO_4	"	293	586	878.4
K_2HPO_4	"	372.7	745.4	1117.8
$NaHCO_3$	"	400	400	400

หมายเหตุ : ในการทดลองชุดที่ 1 (COD = 1000 mg/l) นั้น ในช่วงแรก (ตั้งแต่วันที่ 1-10) น้ำเสียมีส่วนประกอบแตกต่างไปจากตารางนี้เล็กน้อย กล่าวคือ ได้มีการเติม NH_4Cl ลงไป 403 มก/ล แต่หลังจากช่วงดังกล่าวแล้ว ก็ใช้น้ำเสียตามที่แสดงไว้ในตารางนี้ทุกประการ

4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ (Sampling and Analysis)

แผนงานทดลองและเครื่องมือแม้ว่าจะสมบูรณ์เพียงใด หากปราศจากการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแล้ว ผลการทดลองย่อมไม่อาจบรรลุเป้าหมายอย่างสมบูรณ์ได้ การทดลองครั้งนี้จึงให้ความสำคัญต่อการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำทิ้งเป็นอย่างมาก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้.-

ดีโอ

การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ จะกระทำก่อนที่จะครบ 20 ชั่วโมง ของการเติมอากาศโดยใช้เครื่องวัดดีโอของ Delta Scientific, Model 1010, Serial - 1935 วัดจากถังปฏิกิริยาโดยตรง

อุณหภูมิ

วัดโดยใช้เครื่องวัดดีโอตามที่กล่าวมาแล้ว โดยเพียงบิด Selector ไปที่ช่องวัดอุณหภูมิ ก็จะสามารถอ่านค่าบนหน้าปัทม์ได้

เอสวีไอ

การเก็บตัวอย่างจะเก็บจากถังปฏิกิริยาก่อนที่จะหยุดเติมอากาศชั่วขณะหนึ่ง ตวงใส่กระบอกตวงขนาด 1,000 มล. จากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนโดยอิสระเป็นเวลา 30 นาที อ่านปริมาตรของชั้นตะกอนเป็น มล. เพื่อนำไปคำนวณหาค่า เอสวีไอ ต่อไป

โดย เอสวีไอ = $\frac{\text{ปริมาตรชั้นตะกอนหลังจากปล่อยให้ตกตะกอน 30 นาที,มล.}}{\text{MLSS}}$ ก/ล

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาตรของชั้นตะกอน	=	200	มล.
เอ็มแอลเอสเอส	=	2,000	มก/ล
	=	2	ก/ล
ดังนั้น เอสวีไอ	=	$\frac{200}{2}$	
	=	100	

MLSS

การเก็บตัวอย่างกระทำเช่นเดียวกับการหาเอสวีไอ แล้วทำการวิเคราะห์ตามวิธีในหนังสือ American standard method.

MLVSS

การวิเคราะห์จะกระทำต่อเนื่องจากการหา MLSS โดยวิธีที่แสดงในหนังสือ American standard method. (18)

ตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง

การเก็บตัวอย่างจะกระทำตามที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อ 4.3.2 ข้อ 4 และ 5 ส่วนการวิเคราะห์กระทำตามวิธีในหนังสือ American standard Method (18)

ซีโอดี

การวัดค่า ซีโอดี ของน้ำทิ้ง จะวัดเฉพาะค่าซีโอดีที่ละลายอยู่เท่านั้น โดยนำน้ำส่วนที่ผ่านการกรองจากการหาสารแขวนลอยในน้ำทิ้ง มาทำการวิเคราะห์หาซีโอดีต่อไป ตามวิธีที่แสดงในหนังสือ American standard method (18)

พีเอช

วัดได้โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ ของ Backman แบบ Zeromatic SS - 3

อนึ่ง ในการทดลองชุดที่ 1 ผู้วิจัยได้นำน้ำตะกอนเพื่อนำไปวิเคราะห์ MLSS จากแต่ละถังในปริมาณ 50 มล. เท่ากันหมด เป็นเหตุให้ เวลากักตะกอนในแต่ละถังมีค่าเท่ากับ 30, 50, 70, 90, 110 และ 130 วันตามลำดับ ส่วนในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 ผู้วิจัยได้นำน้ำตะกอนเพื่อนำไปวิเคราะห์ MLSS จากถังต่าง ๆ ในปริมาณแตกต่างกันดังนี้คือ 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 27.5 และ 32.5 มล.ตามลำดับ เป็นเหตุให้ เวลากักตะกอนในแต่ละถังมีค่าเท่ากับ 200 วัน เหมือนกันหมด