บทที่ 4

แผนงานและการดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการทดลอง

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองกระทำโดยใช้ถังยูเอเอสบีจำนวน 3 ถัง โดยทำการทดลองทั้งสิ้น 6 การทดลอง ทำเป็นชุด ชุดละ 3 การทดลอง แต่ละชุดการทดลองเปรียบเทียบระหว่างถังยูเอเอสบีทั้ง 3 ถัง

ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา คือ ระยะเวลากักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time , HRT) ซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนค่า 2 ระดับ คือ 6 และ 12 ชั่วโมง

พารามิเตอร์ที่ควบคุมให้คงที่ตลอดทุกการทดลอง ได้แก่ความเข้มข้นของน้ำสับปะรดจากโรงงานสับปะรดกระป๋อง (เจือจางมีค่าซีโอดีคงที่ประมาณ 3,000 มก./ล.) การแปรเปลี่ยนระยะเวลากักเก็บน้ำข้างต้นเมื่อคงค่าซีโอดีไว้ จะมีผลทำให้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading) เปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.1)

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรเปลี่ยนตามที่ทำการศึกษาได้แก่

1. พีเอช และ โออาร์พี
2. สภาพด่างรวม (Total Alkalinity)
3. กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid)
4. ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid)
5. ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume)
6. เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (% CH_4)
7. ซีโอดีรวม (Total COD)
8. ค่าความขุ่นของน้ำออก (Effluent)

นอกจากนี้จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชั้น Sludge bed และ Sludge blanket

4.2 การเตรียมน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นน้ำสับปะรดเข้มข้น จากโรงงานสับปะรดกระป๋อง มีค่าซีโอดีประมาณ 600,000 มก./ล. นำมาทำให้เจือจางให้มีค่าซีโอดีคงที่ประมาณ 3,000 มก./ล. และมีส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงระดับภาระบรรทุกสารอินทรีย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลา

ชุดการทดลองที่	ถังยูเอเอสบี ลำดับที่	เวลากักเก็บน้ำ (ชม.)	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน)	ปริมาณน้ำที่ใช้ในถังยูเอเอสบี (ลิตร/วัน)
1/1	1	12	6.0	36.0
1/2	2	12	6.0	25.5
1/3	3	12	6.0	26.0
2/1	1	6	12.0	72.0
2/2	2	6	12.0	51.0
2/3	3	6	12.0	52.0

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (กรัม/ลิตร)	หมายเหตุ
$NaHCO_3$	7	COD:N:P
ยูเรีย (Urea)	0.20	100:3:1
KH_2PO_4	0.167	

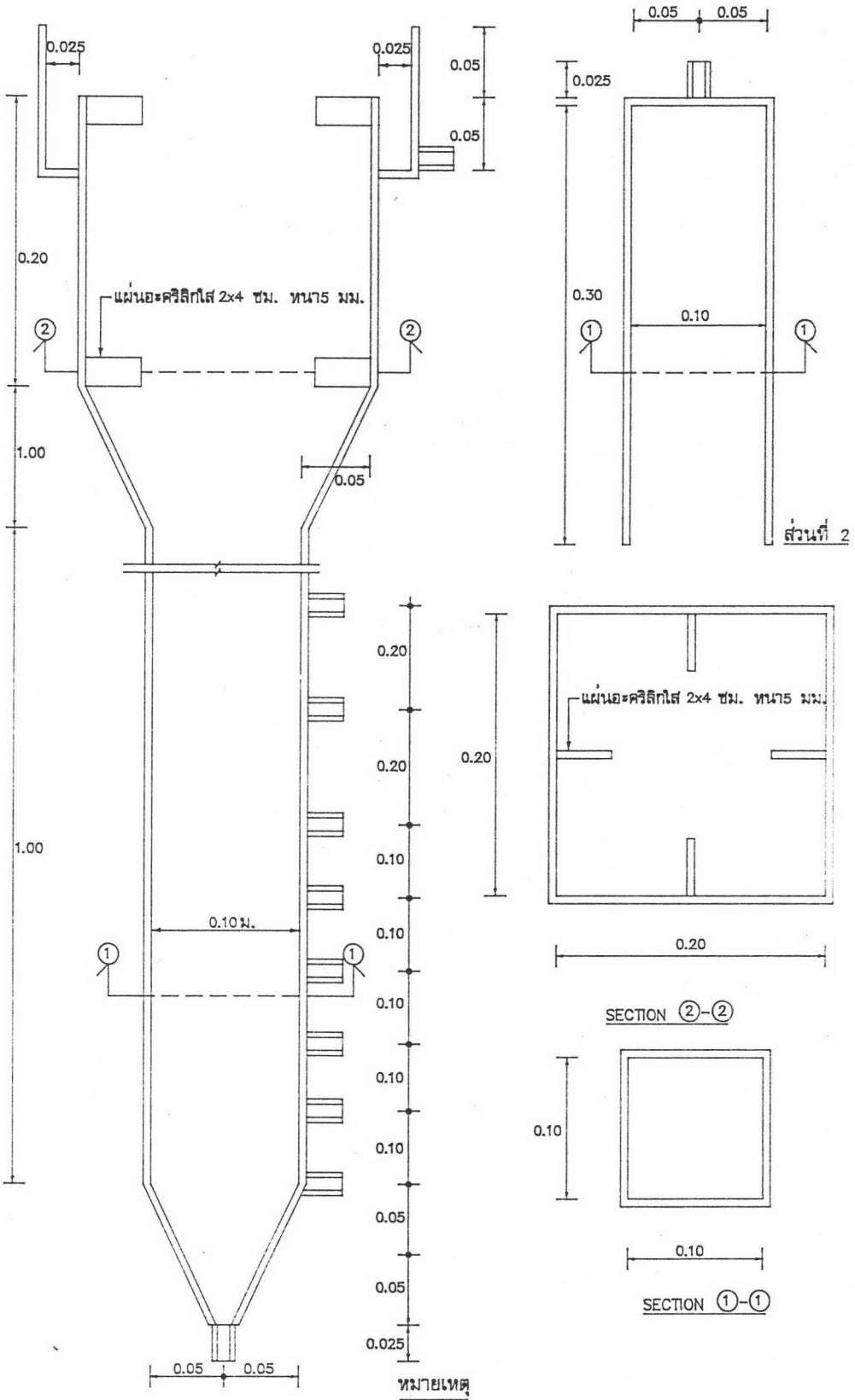
4.3 <u>เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง</u>

4.3.1 ถังยูเอเอสบี (UASB Reactor)

ในการทดลองนี้ ใช้ถังยูเอเอสบี 3 ถังทำด้วยพลาสติกอะคลิลิกใส เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ความสูงทั้งหมด 1.45 เมตร หน้าตัดของถังปฏิกิริยาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความกว้างยาวด้านละ 10.00 เซ็นติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 100.00 ตารางเซ็นติเมตร ด้านล่างของถังทำเป็นรูปกรวย เพื่อให้น้ำเสียกระจายเข้าทั่วทั้งหน้าตัด ท่อน้ำเสียเข้าถังมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ส่วนตอนบนเป็นอุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS device) ซึ่งอุปกรณ์แยกสามสถานะจะแตกต่างกันในแต่ละถังปฏิกิริยา (ภาพที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 แสดงถังยูเอเอสบีทั้ง 3 ถัง , ตารางที่ 4.3 สรุปลักษณะเฉพาะของถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง)

อุปกรณ์แยกสามสถานะมีหน้าที่ ดังนี้

1. แยกก๊าซชีวภาพออกจากน้ำตะกอน (mixed liquor)
2. ป้องกันตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้หลุดออกจากถังปฏิกิริยา
3. เป็นส่วนที่ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และกลับสู่ชั้นตะกอนนอน



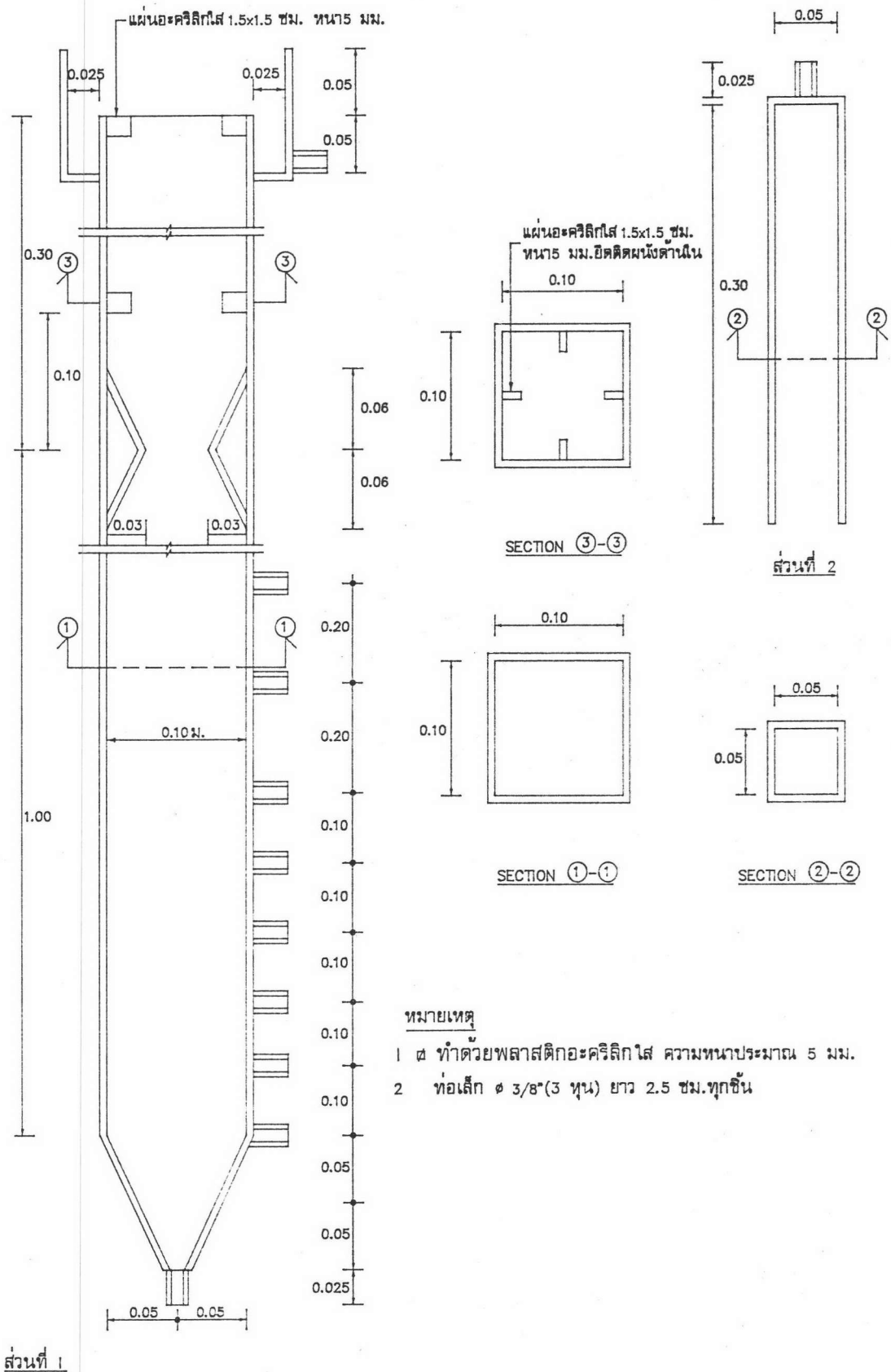
ส่วนที่ 1

หมายเหตุ

1 ø ทำด้วยพลาสติกอะคริลิกใส ความหนาประมาณ 5 มม.

2 ท่อเล็ก ø 3/8"(3 หุน) ยาว 2.50 ซม.ทุกชิ้น

ภาพที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบถังยูเอเอสบี ถังที่หนึ่ง

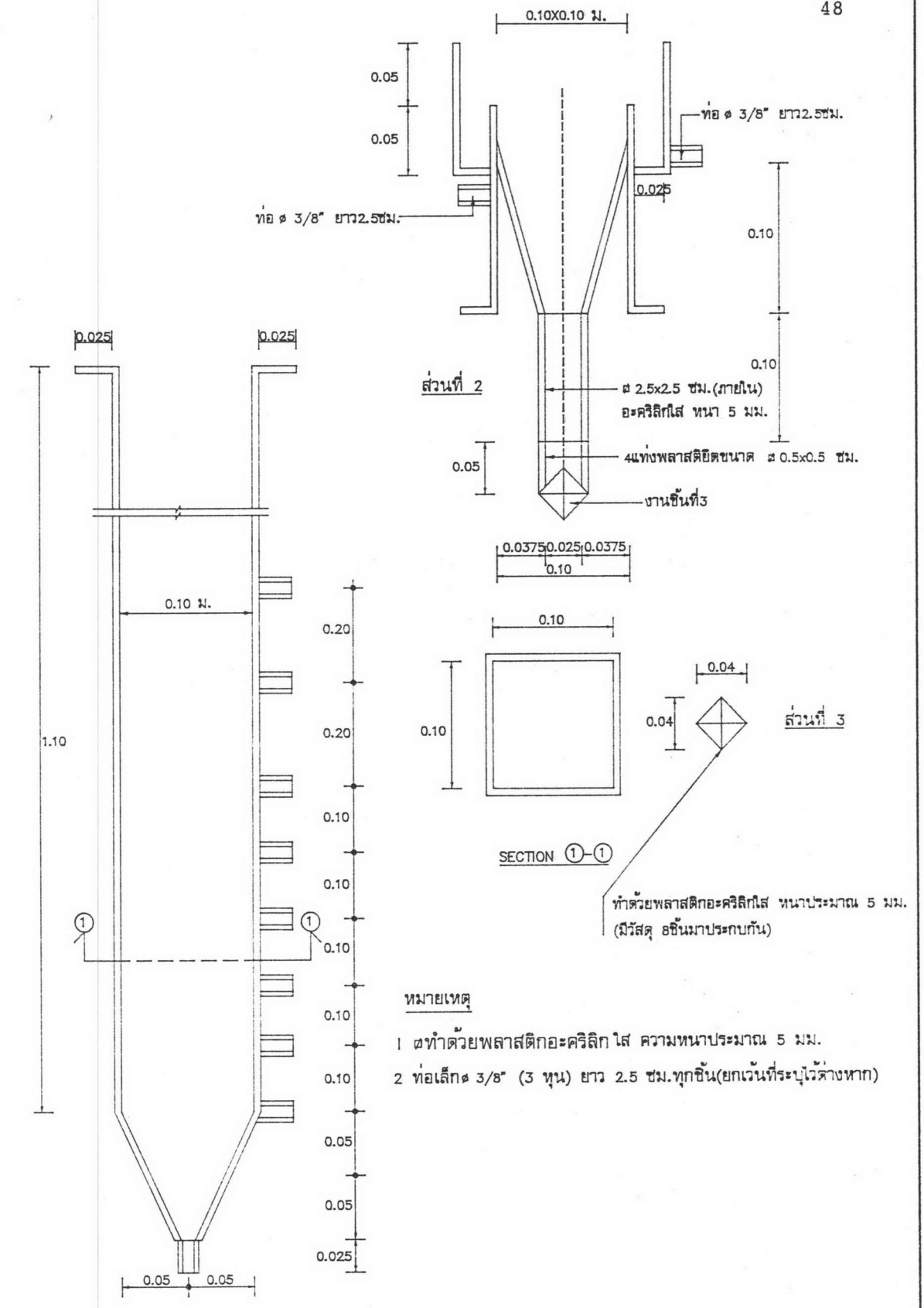


หมายเหตุ

1 ø ทำด้วยพลาสติกอะคริลิกใส ความหนาประมาณ 5 มม.

2 ท่อเล็ก ø 3/8"(3 หุน) ยาว 2.5 ซม.ทุกชิ้น

ภาพที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบถังยูเอเอสบี ถังที่สอง



หมายเหตุ

1 øทำด้วยพลาสติกอะคริลิก ใส ความหนาประมาณ 5 มม.

2 ท่อเล็กø 3/8" (3 หุน) ยาว 2.5 ซม.ทุกชิ้น(ยกเว้นที่ระบุไว้ต่างหาก)

ภาพที่ 4.3 แสดงส่วนประกอบถังยูเอเอสบี ถังที่สาม

(sludge bed) โดยน้ำหนักของตัวเอง

4. เป็นส่วนให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยา

อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยทั้งสามแบบ คือแบบที่หนึ่ง แบบที่สอง และแบบที่สามนั้น เป็นตัวอย่างของรูปแบบของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย ที่เลือกมาโดยมีข้อพิจารณาจากรูปลักษณะของถังยูเอเอสบี เป็นหลักและเน้นความเรียบง่ายไม่ซับซ้อนในแบบที่หนึ่งและแบบที่สอง สำหรับแบบที่สามเป็นการนำรูปแบบของถังตกตะกอนมาประยุกต์ใช้ ทั้งสามแบบมีลักษณะเฉพาะของแต่ละแบบดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 แสดงถังยูเอเอสบีทั้งสามแบบ การออกแบบอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยได้ยึดถือแนวทางที่ Lettinga, Velsen, Hobma, Zeeuw และ Klapwijk(1980) ได้กล่าวว่า แผ่นกั้นในส่วนตกตะกอนควรมีความลาดเอียงประมาณ 50° อัตราน้ำล้นผิว(Surfaceload) ของส่วนนี้ ควรมีค่าต่ำกว่า 0.7 เมตร/ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ส่วนนี้ควรมีค่าน้อยกว่า 2 เมตร/ชั่วโมง จากตารางที่ 4.4 สรุปลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย และภาพที่ 4.1-4.4 แสดงภาพถังยูเอเอสบีทั้งสามถังที่ใช้ในการทดลอง ทำให้สามารถบรรยายเปรียบเทียบลักษณะคุณสมบัติบางประการของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยทั้งสามแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังตารางที่ 4.5 แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาถึงความเหมาะสมของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย ที่เหมาะสมสำหรับถังยูเอเอสบีนั้น ยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆประกอบด้วย เช่น ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ เป็นต้น และที่สำคัญที่สุดของระบบยูเอเอสบี คือการทำให้จุลินทรีย์ในระบบมีลักษณะการรวมตัวกันเป็นเม็ดหรือเกล็ดตะกอนให้ได้เสียก่อน

ท่อน้ำออกและท่อก๊าซ จะอยู่ด้านบนสุด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง3/8 นิ้ว ท่อนำก๊าซต่อเข้าเครื่องวัดปริมาณก๊าซ(gas meter) ที่ด้านข้างของถังปฏิกิริยาจะติดท่อเก็บตัวอย่างน้ำ (tap sample) ซึ่งเป็นท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว จำนวน 8 ท่อ ตามแนวถังปฏิกิริยา ภาพที่ 4.5 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในการทดลอง

4.3.2 เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump)

การป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจากถังเก็บน้ำเสียใช้เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย

4.3.3 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (Gas Meter)

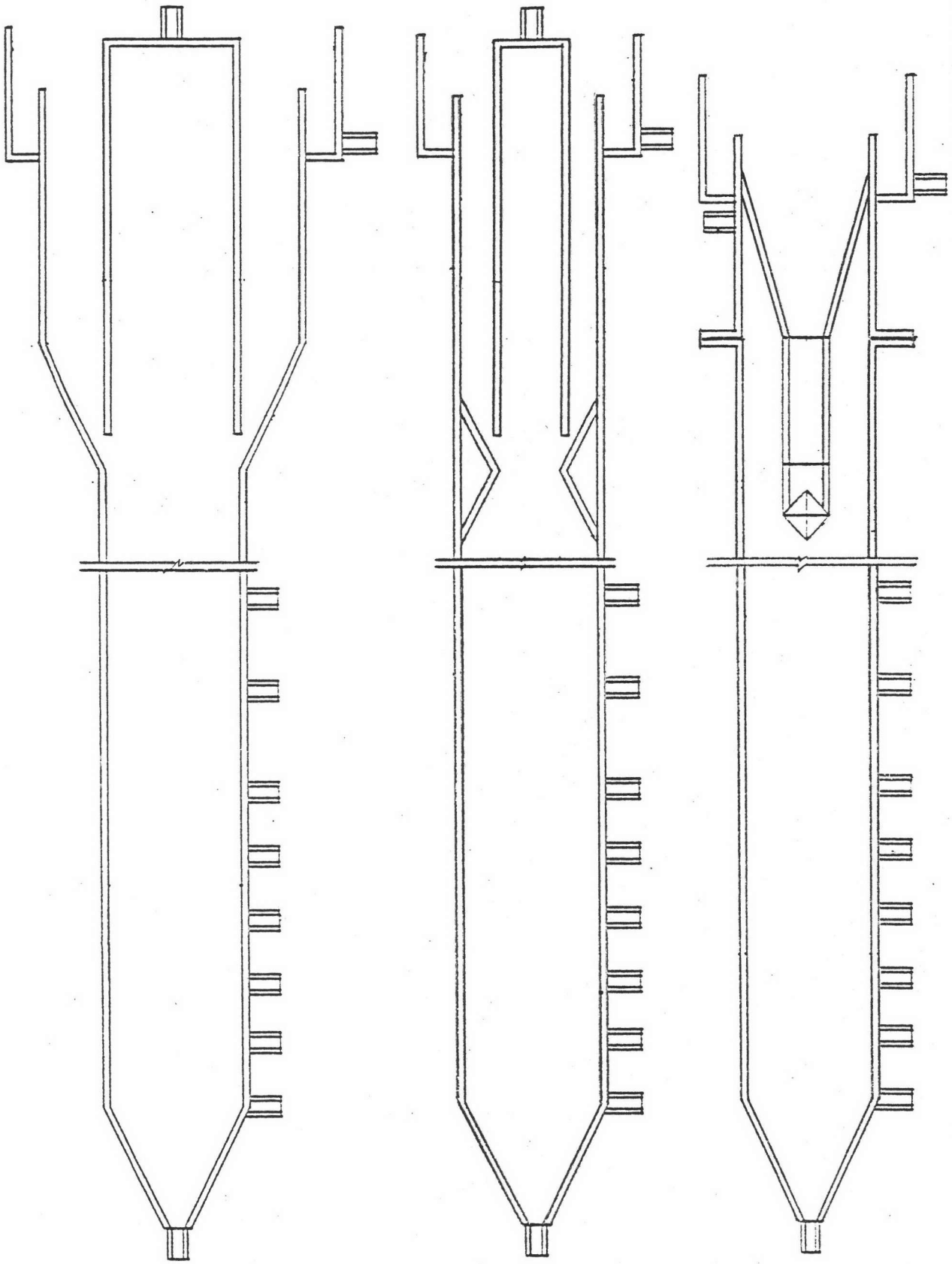
ใช้แบบที่สร้างและออกแบบโดยศักดิ์ชัย (ดังภาพที่ 4.6)

ตารางที่ 4.3 สรุปลักษณะเฉพาะของถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง

	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3
ความสูงทั้งหมด (ซม.)	145	145	140
ความกว้างและความยาว (ซม.)	10x10	10x10	10x10
พื้นที่หน้าตัด ($ซม.^2$)	100	100	100
ปริมาตรถังทั้งหมด (ลิตร)	18.00	12.75	13.00

ตารางที่ 4.4 สรุปลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยทั้งสามแบบ

	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1.พื้นที่ผิวน้ำ (ม.^{2})	0.0279	0.0064	0.01
2.อัตราน้ำล้นผิว (ม./ชม.)			
เวลากักเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง	0.05	0.17	0.11
เวลากักเก็บน้ำ 6 ชั่วโมง	0.11	0.34	0.22
3.ปริมาตร (ลิตร)	7.50	2.25	1.50
4. เวลากักเก็บน้ำของอุปกรณ์ (ชม.)			
เวลากักเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง	5.0	2.1	1.4
เวลากักเก็บน้ำ 6 ชั่วโมง	2.5	1.1	0.7
5.ความเร็วน้ำไหลขึ้น (ม./ชม.)			
เวลากักเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง	0.15	0.11	0.11
เวลากักเก็บน้ำ 6 ชั่วโมง	0.30	0.21	0.22



ภาพที่ 4.4 แสดงถังยูเอเอสบีทั้งสามแบบ

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะคุณสมบัติบางประการของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยทั้งสามแบบ

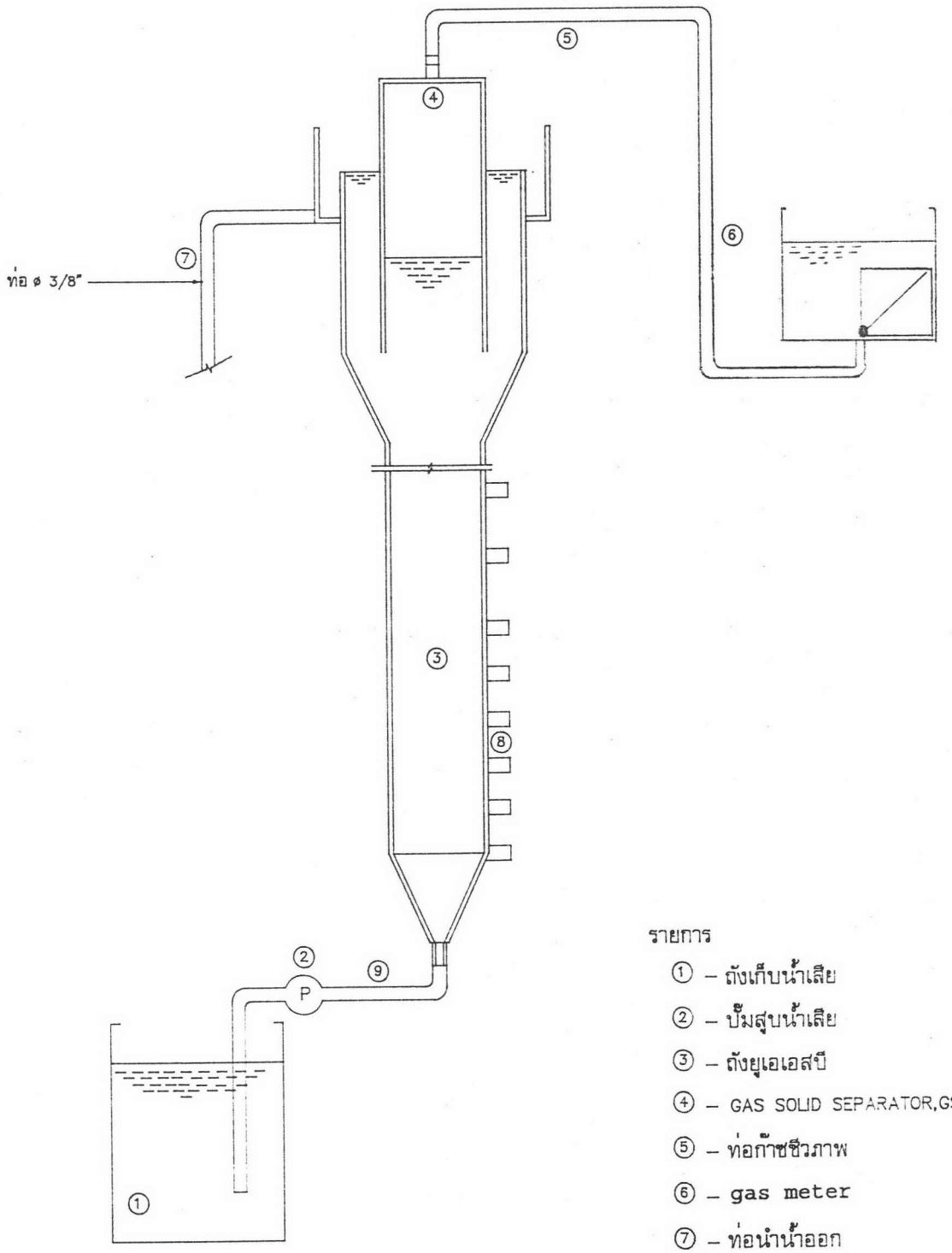
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1.ความสามารถในการแยกก๊าซชีวภาพ	ดีกว่าแบบที่ 2	ด้อยกว่าทั้งสองแบบ เนื่องจากแผ่นกั้นก๊าซมีเพียงสองด้านเท่านั้น	ดีที่สุด เพราะแผ่นกั้นก๊าซกั้นตรงท่อนำน้ำเข้าสู่ส่วนตกตะกอน
2.ความสามารถในการแยกตะกอนแขวนลอย (พิจารณาจากอัตราน้ำล้นผิว)	ดีที่สุด เพราะมีอัตราน้ำล้นผิวต่ำที่สุด	ด้อยกว่าทั้งสามแบบ	ดีกว่าแบบที่สอง
3.การบำรุงรักษาและทำความสะอาด	ง่ายสามารถยกออกได้เลย	ง่ายสามารถยกออกได้เลย	ทำได้ยากกว่าต้องถอดน็อตออก

4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

4.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่สำคัญ 3 ตำแหน่ง คือ

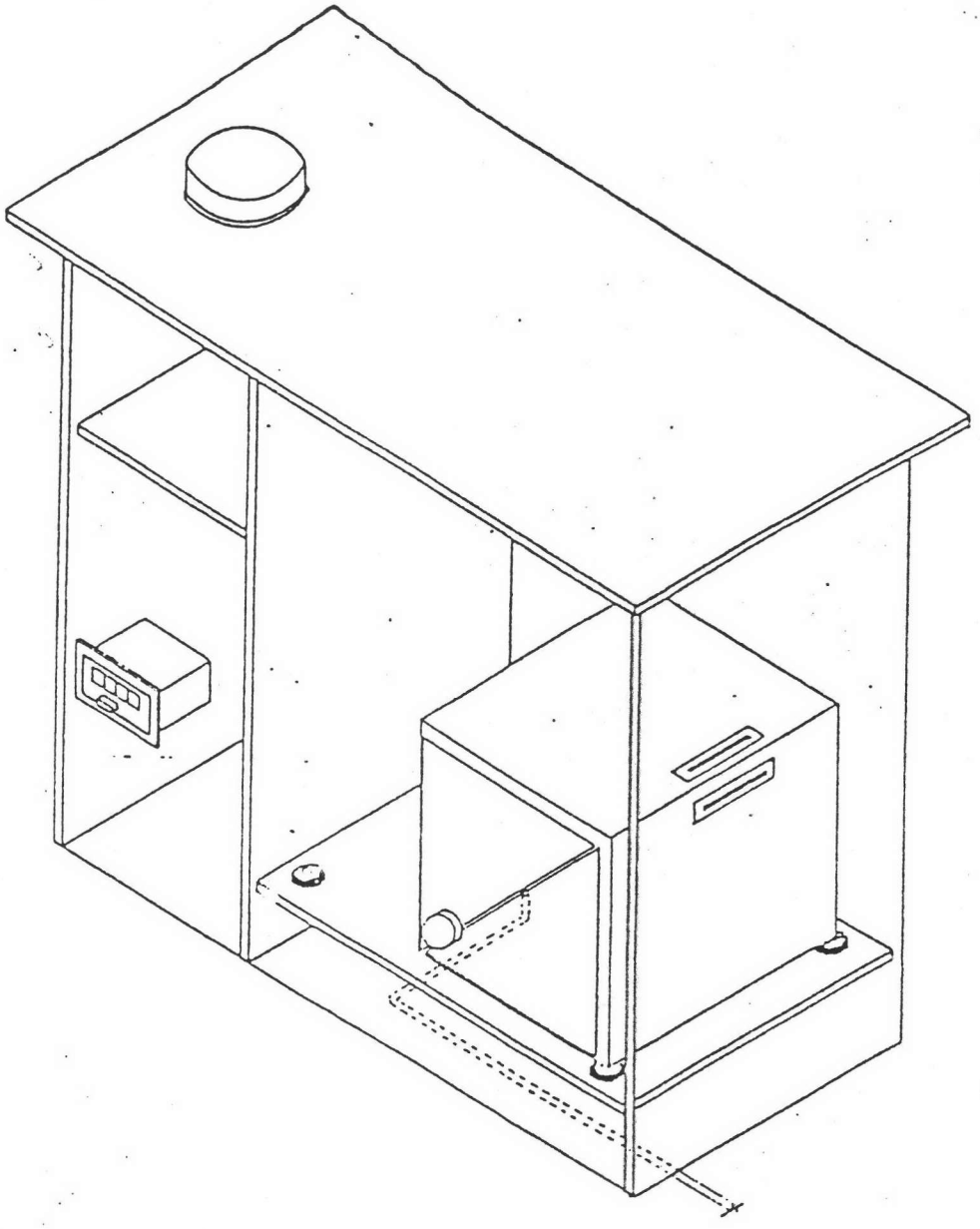
1. จากถังเก็บน้ำเสีย
2. จากน้ำทิ้งที่ออกจากถังยูเอเอสบี
3. ภายในถังยูเอเอสบี



รายการ

① – ถังเก็บน้ำเสีย
② – ปั๊มสูบน้ำเสีย
③ – ถังยูเอเอสบี
④ – GAS SOLID SEPARATOR,GSS.
⑤ – ท่อก๊าซชีวภาพ
⑥ – gas meter
⑦ – ท่อนำน้ำออก
⑧ – จุดเก็บตัวอย่างน้ำ
⑨ – ท่อนำน้ำเข้า

ภาพที่ 4.5 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวิจัย (แสดงเฉพาะถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง)



ภาพที่ 4.6 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (ศักดิ์ชัย, 2527)

สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำภายในถังยูเอเอสบี มีจุดเก็บตัวอย่างอยู่ 8 จุด ด้วยกันตำแหน่งของจุดดังกล่าว แสดงในภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 การเก็บตัวอย่างจะเริ่มจากจุดบนสุดก่อนลงมาทีละจุด เพื่อป้องกันการรบกวนชั้นของตัวอย่างน้ำ อนึ่ง ก่อนที่จะเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุด จะปล่อยน้ำในถังยูเอเอสบีทิ้งไปก่อนประมาณ 50 มล. ทุกครั้ง แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำ การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บครั้งละประมาณ 200-250 มล. แล้วนำไป วิเคราะห์หาค่าต่างๆทันที

4.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพของน้ำ ได้แก่ พีเอช, โอออาร์พี, สภาพด่างรวม, กรดไขมันระเหย, ตะกอนแขวนลอย ซีโอดี, ค่าความขุ่น รวมทั้งการตรวจดูลักษณะภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์แผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ตามหนังสือ Standard Methods ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. พีเอชวิเคราะห์โดยการวัดด้วยเครื่องพีเอช
2. โออาร์พีวิเคราะห์โดยเครื่องวัดโออาร์พี
3. สภาพด่างรวมและกรดไขมันระเหย วิเคราะห์โดยวิธี Direct Titration ของ Dilallo & Albertson
4. ซีโอดี วิเคราะห์โดย Closed Reflux Method
5. ตะกอนแขวนลอย วิเคราะห์โดยการใช้กระดาษกรอง GF/C
6. ความขุ่น วิเคราะห์โดยเครื่องวัดความขุ่น

4.5 <u>การวัดและวิเคราะห์ก๊าซ</u>

ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จะทราบได้จากเครื่องวัดปริมาณก๊าซ ตามแบบของศักดิ์ชัย (2527) ส่วนองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ จะใช้เครื่องมือวัดแบบ ORSAT

ตารางที่ 4.6 แผนการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง			
	น้ำเสีย	ภายในถังUASB	น้ำทิ้ง	ก๊าซชีวภาพ
พีเอช	ก	(ก); ค	ก	-
โออาร์พี	-	(ก); ค	ก	-
สภาพด่างรวม	ข	(ข); ค	ข	-
กรดไขมันระเหย	ข	(ข); ค	ข	-
ตะกอนแขวนลอย	-	(ข); ค	-	-
V_{30} ของ Sludge Blanket	-	(จ)	-	-
ความขุ่น	-	-	ก	-
ซีโอดีรวม	ข	ค	ข	-
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	-	-	ก
เปอร์เซนต์ CH_4	-	-	-	ง
การส่องดูจุลชีพ	-	ง	-	-

หมายเหตุ

ก = ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์ทุกวัน

ข = ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 วัน

ค = ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์และเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุดตามแนวยาวของถัง

ง = ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์เดือนละ 1 ครั้ง

จ = ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

( )= ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์โดยเก็บตัวอย่างที่ระดับ 0.50 ม. จากด้านล่างถัง