บทที่ 4
แผนงานและการดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการทดลอง

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้อุณหภูมิห้อง(room temperature) การทดลองแบ่งทำเป็น 2 ชุดการทดลอง ในแต่ละชุดทดลองจะเปรียบเทียบระหว่างถังปฏิกิริยายูเอเอสบีแบบเดียวกันจำนวน 3 ถัง ด้วยเงื่อนไขการเติมนิกเกิลและโคบอลต์ที่ต่างกัน รวมการทดลองทั้งสิ้น 6 การทดลองดังตารางที่ 4.1

สมคะเน จริตงาม (2538) เตรียมน้ำเข้าตามตารางที่ 4.2 แต่ไม่เติมไอออนของนิกเกิลและโคบอลต์ในน้ำเข้า และใช้ถังปฏิกิริยาใบหนึ่งเหมือนกับถังปฏิกิริยาในงานนี้ ปรากฏว่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบีดังกล่าวที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน., เวลากักน้ำเท่ากับ 12 ชม. มีค่าสูงถึง 95 % แต่ที่ภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.ประสิทธิภาพลดต่ำเหลือ 29.5% ขณะที่ชำนาญ กายประสิทธิ์(2538) เติมนิกเกิลและโคบอลต์ลงในน้ำเข้า ปรากฏว่าที่ภาระสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันมีประสิทธิภาพประมาณ 80% คาดว่าที่ชำนาญ กายประสิทธิ์(2538) สามารถเดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์สูงกว่าสมคะเน จริตงาม (2538) เป็นผลจากการเติมนิกเกิลและโคบอลต์ในน้ำเข้า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาตัวแปรอิสระ คือ ผลของการเติมนิกเกิลและโคบอลต์ ต่อการทำงานของระบบ , การแปรเปลี่ยนอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบเท่ากับ 12 และ 18 กก.ซีโอดี/$ม^3$ วัน โดยแปรเปลี่ยน ค่าซีโอดีของน้ำเข้าเป็น 2 ระดับ คือ 3,000 และ 4,500 มิลลิกรัม/ลิตร

ตัวแปรคงที่ตลอดการทดลอง ได้แก่ ระยะเวลากักน้ำ(hydraulic retention time , hrt.) เท่ากับ 6 ชั่วโมง , สัดส่วนของซีโอดีน้ำเข้าต่อนิกเกิลและโคบอลต์ที่เติม ประมาณ 100:0.008:0.008 ดังตารางที่ 4.1

ตัวแปรเปลี่ยนตามที่ทำการศึกษาได้แก่

1. พีเอช และโออาร์พี
2. สภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)
3. กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid)
4. ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid)
5. ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume)
6. เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (% CH_4)
7. ซีโอดีรวมและซีโอดีละลาย (Total COD & Filtrate COD)

นอกจากนี้จะวัดการเปลี่ยนแปลงของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) และชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket)

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงระดับที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี

ลำดับชุดการทดลอง	ถัง ยูเอเอสบี ลำดับที่	ค่าซีโอดี (มก./ล.)	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ม3 วัน)	ปริมาณน้ำใช้ ลิตร/วัน)	ไอออนนิกเกิลเติม (มก/ล.)	ไอออนโคบอลต์เติม (มก/ล.)
1/1) เติมNi&Co	1	3000	12.0	70	0.25	0.25
1/2) เติมNi	2	3000	12.0	70	0.25	-
1/3) เติมCo	3	3000	12.0	70	-	0.25
2/1) เติมNi&Co	1	4500	18.0	70	0.375	0.375
2/2) เติมNi	2	4500	18.0	70	0.375	-
2/3) เติมCo	3	4500	18.0	70	-	0.375

4.2 การเตรียมน้ำเสีย

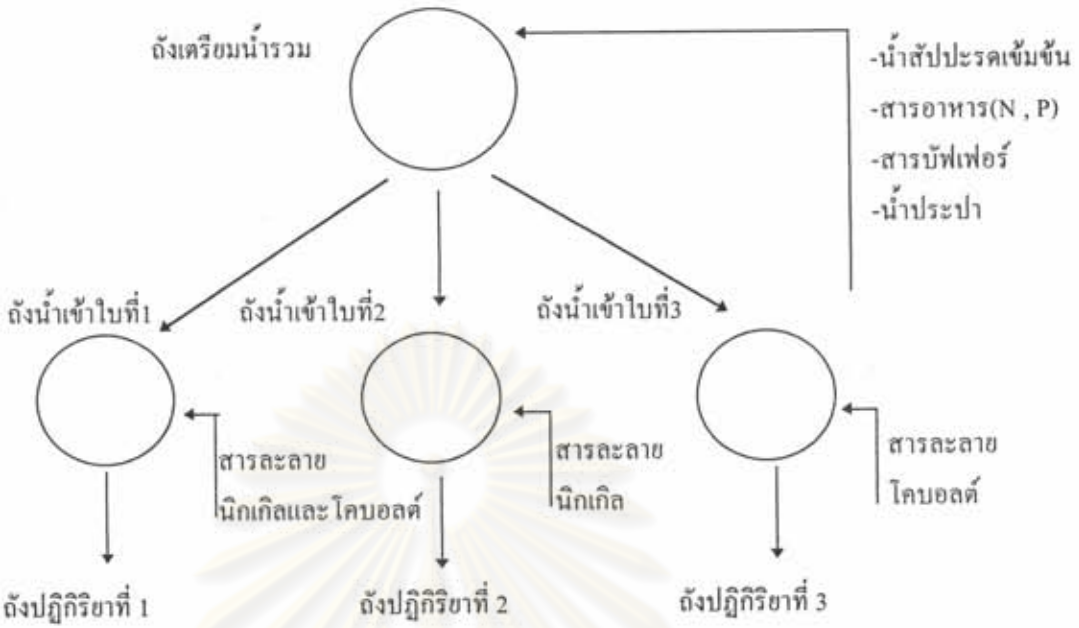
น้ำเข้าที่ที่ใช้ในการทดลองนี้ เตรียมจากน้ำสัปปะรดเข้มข้น จากโรงงานสัปปะรดกระป๋องแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง น้ำสัปปะรดดังกล่าวมีค่าซีโอดีประมาณ 600,000-700,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเจือจางด้วยน้ำประปาจนได้ค่าซีโอดีของน้ำเข้าประมาณ 3000 และ 4500 มิลลกรัมต่อลิตรตามลำดับ เติมสารอาหาร(ไนโตรเจน ,ฟอสฟอรัส)ในรูปผง และเติมนิกเกิลและโคบอลต์ในรูปสารละลายตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เติมในน้ำเข้า

ส่วนประกอบ	การทดลองชุดที่1 ปริมาณ (กรัม/ลิตร)	การทดลองชุดที่ 2 ปริมาณ (กรัม/ลิตร)	หมายเหตุ
$NaHCO_3$	7	8.5	COD:N:P:Ni:Co
ยูเรีย (Urea)	0.20	0.30	100 : 3 : 1 : 0.008 : 0.008
KH_2PO_4	0.167	0.25	
Ni^{+2}	0.25	0.375	
Co^{+2}	0.25	0.375	

หมายเหตุ : $NiSO_4$ และ$CoCl_2$ ที่ใช้เป็นสารเคมีเกรดห้องปฏิบัติการ(lab grade) นอกจากนั้นเป็นสารเคมีเกรดอุตสาหกรรม(industrail grade)

ในขั้นการเตรียมน้ำเข้านั้นจะผสมส่วนประกอบต่างๆตามตารางที่ 4.2 ยกเว้นนิกเกิลและโคบอลต์ลงในถังรวม จากนั้นจึงแยกน้ำที่ผสมเสร็จแล้วลงสู่ถังน้ำเข้าแต่ละใบเพื่อเติมนิกเกิลและโคบอลต์ก่อนจะนำไปจ่ายเข้าระบบ(ดูรูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 แผนผังการเตรียมน้ำเข้า

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 ถังยูเอเอสบี (UASB Reactor)

ในการทดลองนี้ จะใช้ถังยูเอเอสบี 3 ถัง ทำด้วยพลาสติกอะคลิลิกใสเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ความสูงทั้งหมด 1.45 เมตร หน้าตัดของถังปฏิกิริยาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความกว้างยาวด้านละ 10 เซ็นติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 100 ตารางเซ็นติเมตร ด้านล่างของถังทำเป็นรูปกรวย เพื่อให้น้ำเสียกระจายเข้าทั่วทั้งหน้าตัด ท่อน้ำเสียเข้าถังมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ส่วนตอนบนเป็นอุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS device) ซึ่งอุปกรณ์แยกสามสถานะจะมีขนาดแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละถังปฏิกิริยา (รูปที่ 4.2 และ4.3 แสดงถังยูเอเอสบี , ตารางที่ 4.3 สรุปลักษณะเฉพาะของถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง)

อุปกรณ์แยกสามสถานะมีหน้าที่ ดังนี้

1. แยกก๊าซชีวภาพออกจากน้ำตะกอน (mix liquor)
2. ป้องกันตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้หลุดออกจากถังปฏิกิริยา
3. เป็นส่วนทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และกลับสู่ชั้นตะกอนล่าง (sludge bed) โดยน้ำหนักของตัวเอง
4. เป็นส่วนให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากปฏิกิริยา

ท่อน้ำออกและท่อก๊าซ จะอยู่ด้านบนสุดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ท่อนำก๊าซจะต่อเข้าเครื่องวัดปริมาณก๊าซ (gas meter) ที่ด้านข้างของถังปฏิกิริยาจะติดท่อเก็บตัวอย่างน้ำปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.3 สรุปลักษณะเฉพาะของถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลองที่เวลากักน้ำเท่ากับ 6 ชั่วโมง

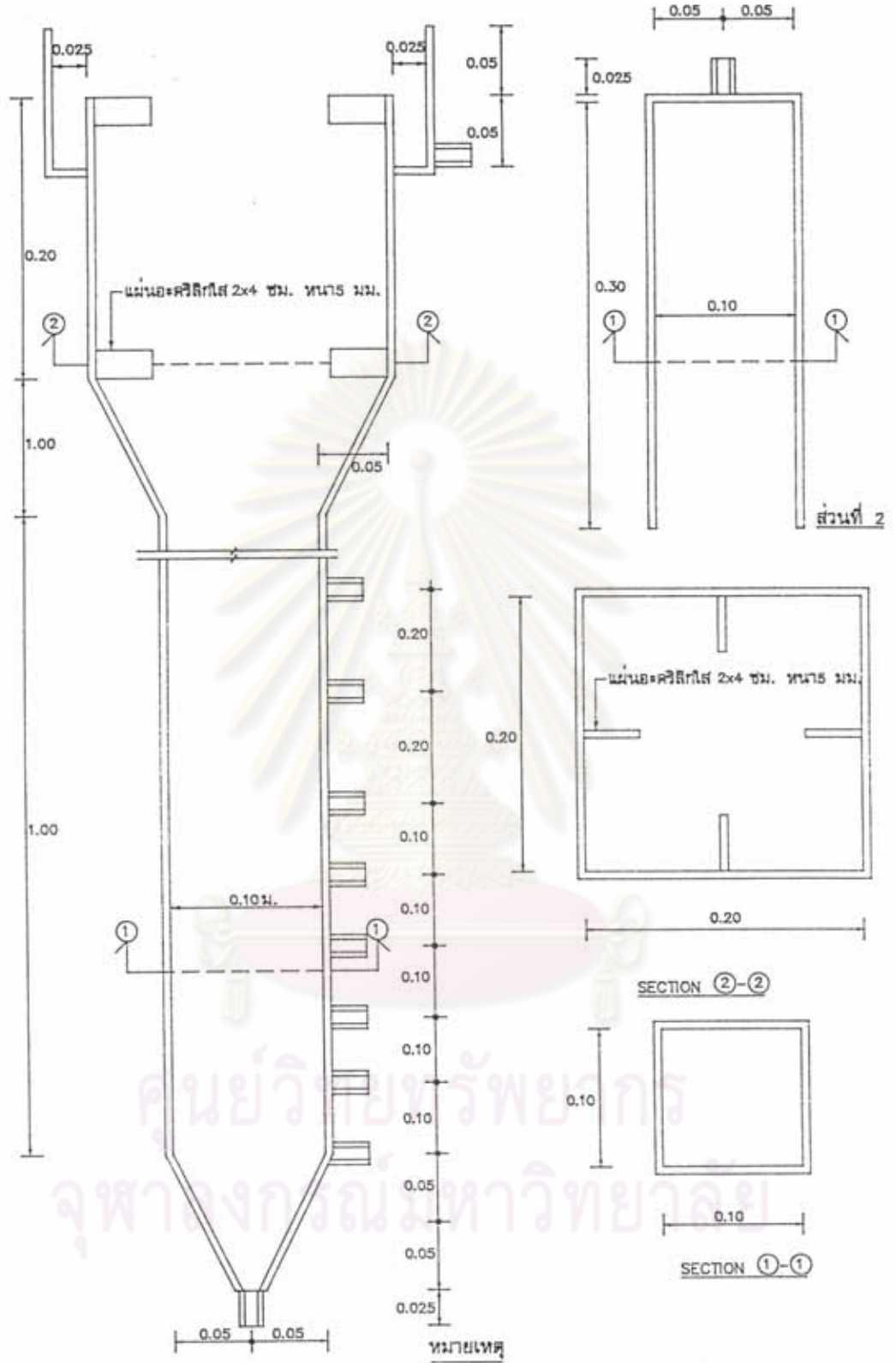
	ถังปฏิกิริยาที่ 1	ถังปฏิกิริยาที่ 2 & 3
ความสูง(เมตร)	1.45	1.45
พื้นที่หน้าตัด(ซม.^{2}) (กว้าง x ยาว)	100 (10x10)	100 (10x10)
ปริมาตรทั้งหมด(ลิตร)	20.7	20.7
ปริมาตรใช้งาน(ลิตร)	18.2	17.2
ความเร็วไหลขึ้น(ม./ชม)	0.3	0.3
ส่วนGSS		
- ความสูง(ซม.)	30	27.5
- พื้นที่หน้าตัด(ซม.^{2}) (กว้าง x ยาว)	100 (10x10)	156.25 (12.5x12.5)
- ปริมาตรทั้งหมด(ลิตร)	3	4.3
- ปริมาตรจุ่มน้ำ(ลิตร)	2.5	3.5
- อัตราน้ำล้นผิว(ม./ชม.)	0.1	0.13
- พื้นที่ผิวช่องว่าง(ซม^2)	279	217
- ความเร็วน้ำไหลผ่านช่องว่างที่แคบที่สุด(ม/ชม.)	0.39	0.30

4.3.2 เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (Peristaltic pump)

การป้อนน้ำเสียเข้าปากถังปฏิกิริยาจากถังเก็บน้ำเสีย จะใช้เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย ยี่ห้อWattson Marlow รุ่น 503S

4.3.3 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (Gas Meter)

ใช้แบบศักดิ์ชัย (2527) (ดังรูปที่ 4.4)และแบบที่ปรับปรุงจากแบบศักดิ์ชัย(2538)ดังรูปที่ 4.5 สำหรับหลักการทำงานของ เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (Gas Meter)ทั้งสองแบบโดยละเอียดมีในภาคผนวก ข



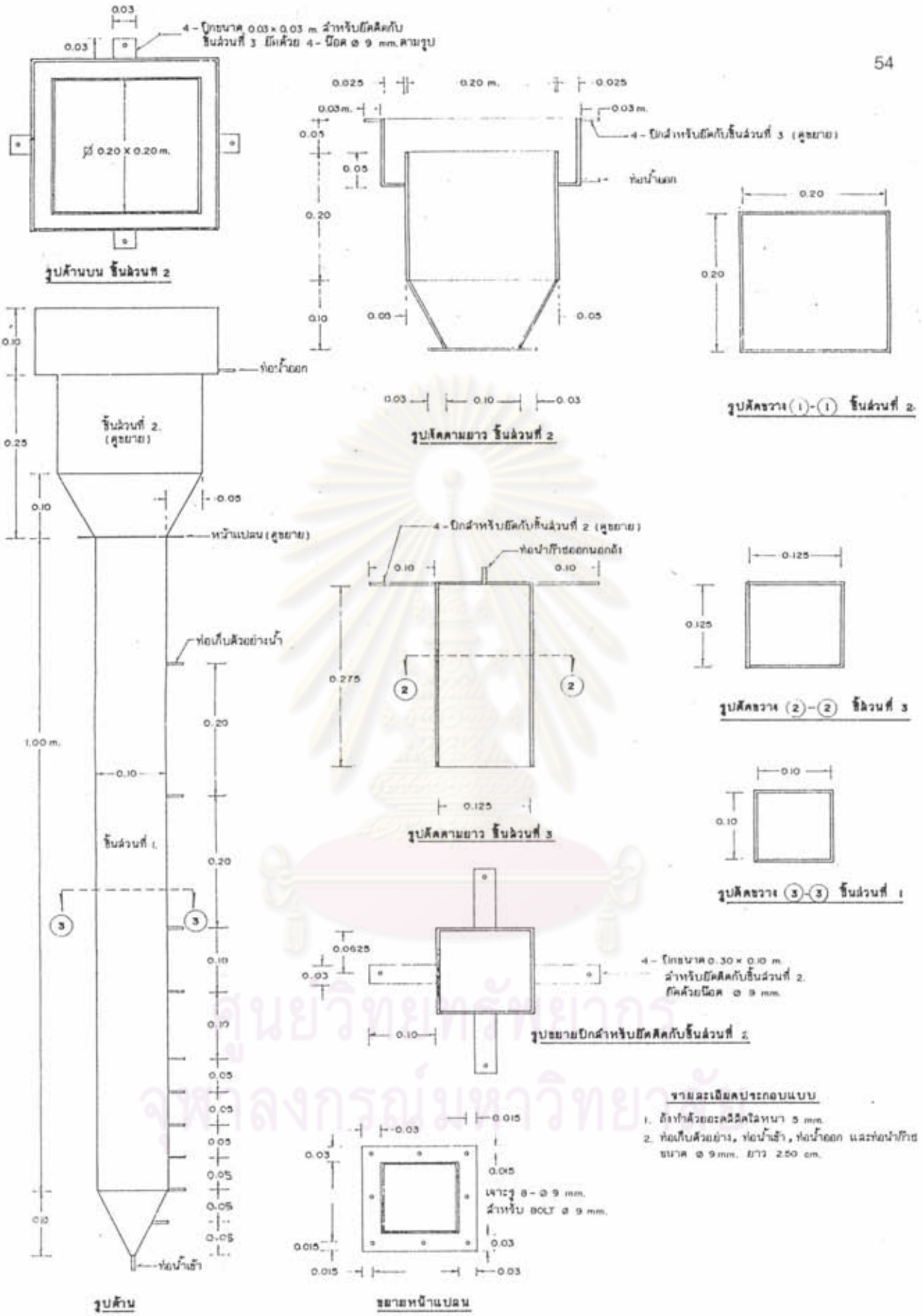
หมายเหตุ

1 ๓ ทำด้วยพลาสติกอะคริลิกใส ความหนาประมาณ 5 มม.

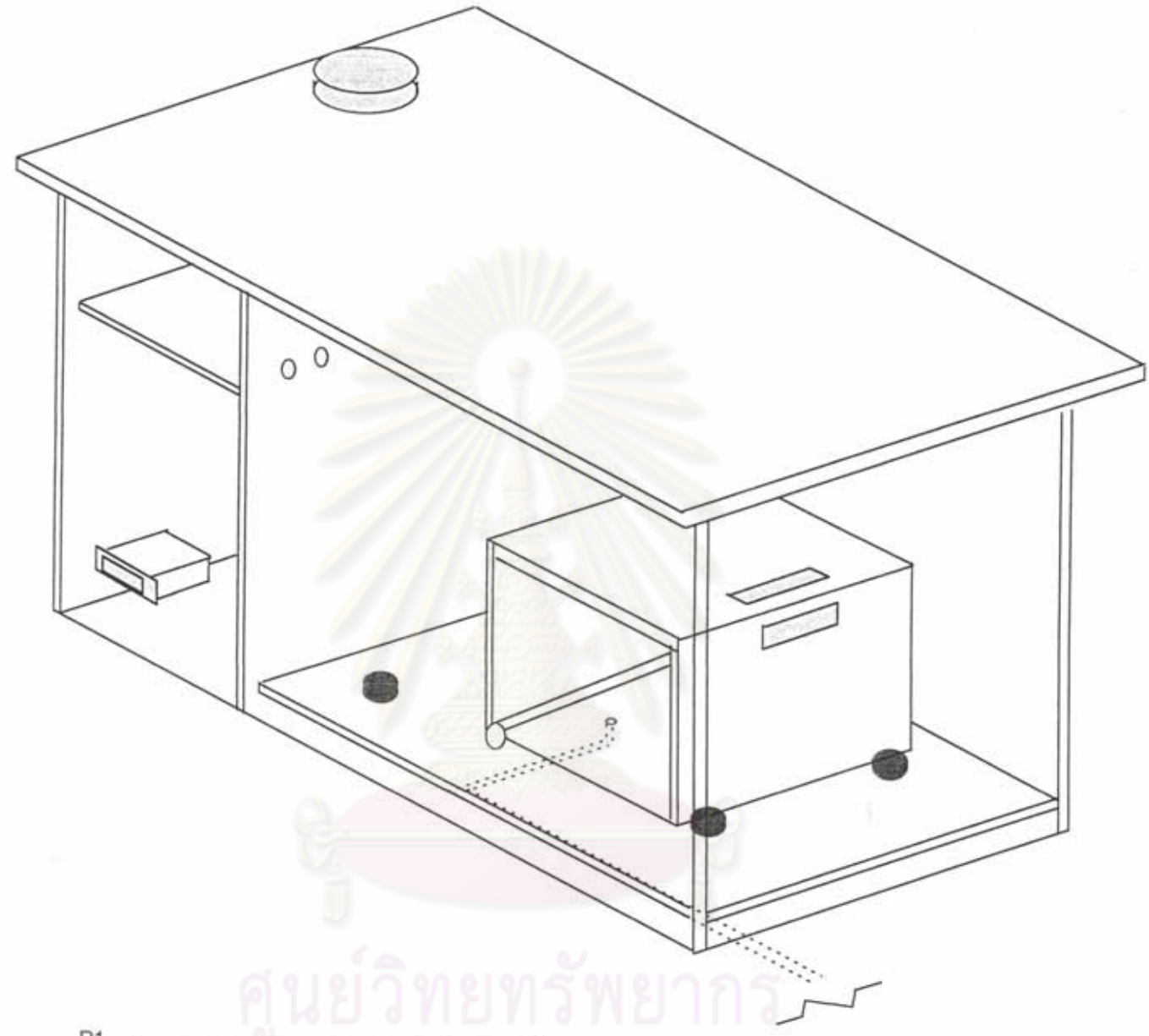
2 ท่อเล็ก ø 3/8"(3 หุน) ยาว 2.50 ซม.ทุกชิ้น

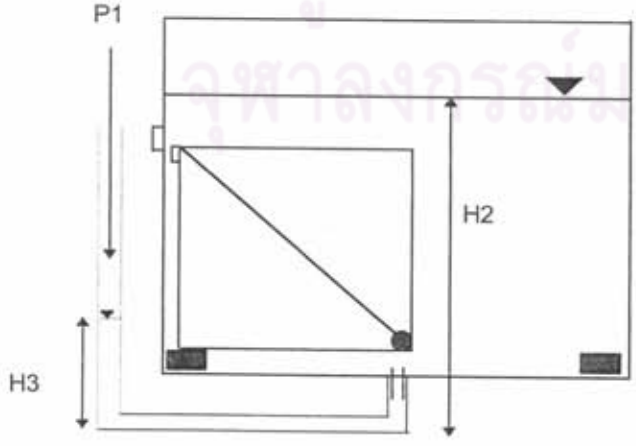
รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบถังปฏิกิริยาที่ 1 ที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



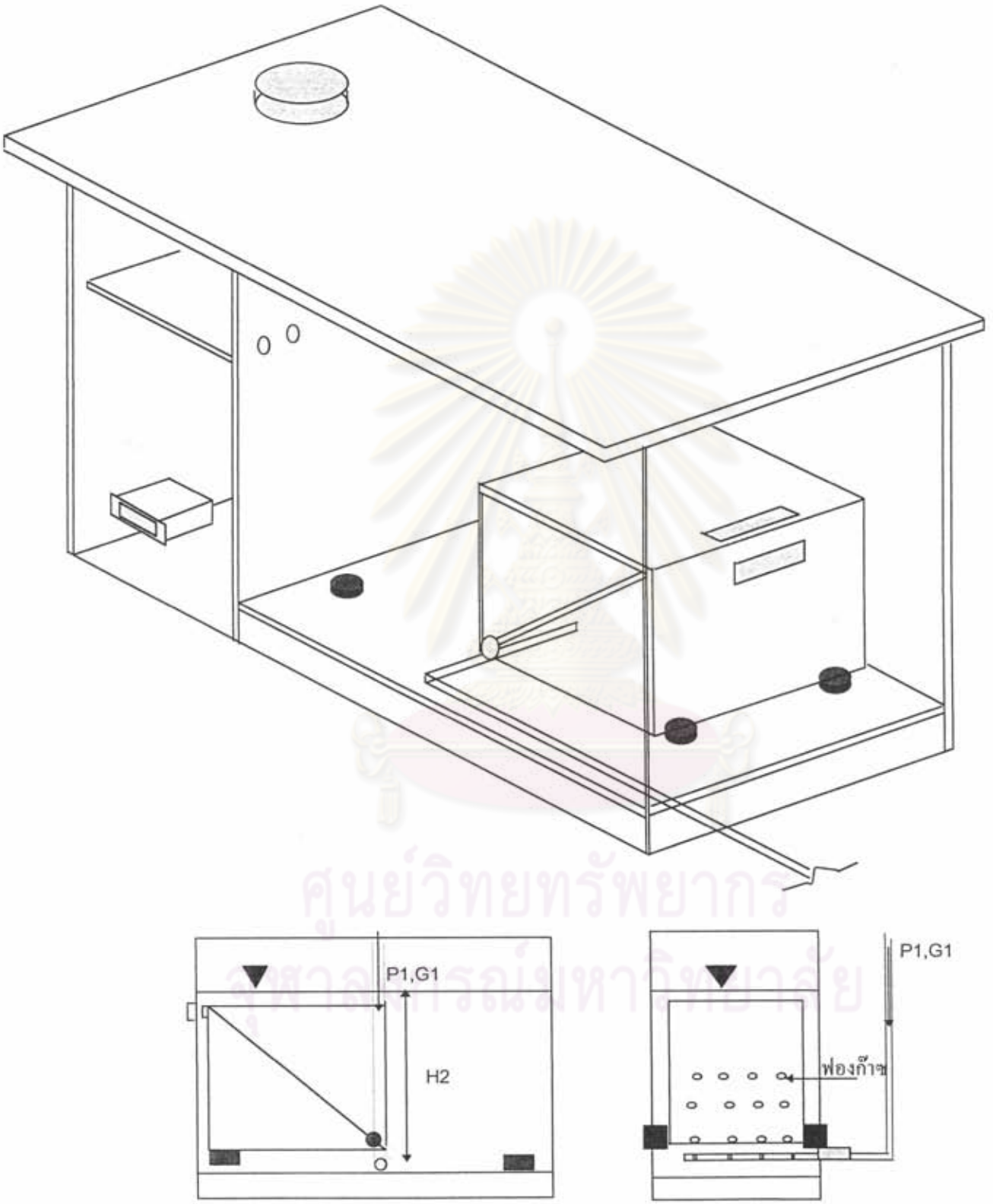
รูปที่ 4.3 แสดงส่วนประกอบถังปฏิกิริยาที่ 2 และ 3 ที่ใช้ในการทดลอง





รูปที่4.4 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (ศักดิ์ชัย,2527)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่4.5 เครื่องวัดปริมาณก๊าซแบบที่ปรับปรุงจากรุ่นศักดิ์ชัย,2527

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

4.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่สำคัญ 3 ตำแหน่ง คือ

1. จากถังเก็บน้ำเสีย
2. จากท่อน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบี
3. จากภายในถังยูเอเอสบี

สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำภายในถังยูเอเอสบี มีจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ 8 จุดด้วยกันตำแหน่งของจุดดังกล่าว แสดงในรูปที่ 4.2 การเก็บตัวอย่างจะเริ่มจากจุดบนสุดก่อนลงมาทีละจุด เพื่อป้องกันการรบกวนชั้นของตัวอย่างน้ำ แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำ การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บครั้งละประมาณ 200-250 มล.แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ทันที

4.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพของน้ำ ได้แก่ พีเอช,โออาร์พี, สภาพด่าง , กรดโวลาไทล์, ตะกอนแขวนลอย , ซีโอดี , ปริมาณนิกเกิลและโคบอลต์ รวมทั้งการตรวจดูลักษณะภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์ แผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ตามหนังสือ Standard Methods ตามรายละเอียดในตารางที่ 4.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	ใช้เครื่องวัดพีเอช
โออาร์พี	ใช้เครื่องวัดโออาร์พี
สภาพด่าง	Direct Titration (Dilallo&Albertson Method)
กรดโวลาไทล์	Direct Titration (Dilallo & Albertson Method) Gas Chromatography
ซีโอดี	Closed Reflux
ตะกอนแขวนลอย	กรองด้วยกระดาษ GF/C
ความขุ่น	ใช้เครื่องวัดความขุ่น
นิกเกิลและโคบอลต์	Atomic Absorbance Method

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การวัดและวิเคราะห์ก๊าซ

ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จะทราบได้จากเครื่องวัดปริมาณก๊าซตามแบบของศักดิ์ชัย (2527) ส่วนองค์ประกอบของก๊าซต่าง ๆ จะใช้เครื่องมือวัดแบบ ORSAT

ตารางที่ 4.5 แผนการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง			
	น้ำเสีย	ภายในถังUASB	น้ำทิ้ง	ก๊าซชีวภาพ
พีเอช	ก	(ก); ค	ก	-
โออาร์พี	-	(ก); ค	ก	-
สภาพด่างรวม	ข	(ข); ค	ข	-
กรดไขมันระเหย/กรดโพรพิออนิก	ข	(ข); ค	ข	-
ตะกอนแขวนลอย	-	(ข); ค	ข	-
ไอออนนิกเกิลและโคบอลต์	จ	จ	จ	-
ซีโอดีรวม	ข	-	ข	-
ซีโอดีละลาย	-	ค	-	-
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	-	-	ก
เปอร์เซนต์ มีเทน	-	-	-	จ
การส่องดูจุลชีพ	-	ง	-	-

หมายเหตุ

ก = ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์วันจันทร์ถึงวันศุกร์

ข = ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 วัน

ค = ตัวแปรที่ต้องวิเคราะห์และเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุดตามความสูงของถังที่สภาวะคงที่(steady state)

ง = ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

จ = ตัวแปรที่ตามที่ต้องวิเคราะห์เดือนละ 1 ครั้ง

( ) = ตัวแปรตามที่มีเครื่องหมายนี้ต้องวิเคราะห์โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับเหนือชั้นตะกอนนอน (ประมาณ 0.50-0.80 ม. จากก้นถัง)