บทที่ 3

การวางแผนการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองกระทำโดยใช้ระบบยูเอเอสบีแบบ 2 ขั้นตอน คือ มีขั้นตอนการสร้างกรดก่อนและตามด้วยขั้นตอนการสร้างมีเทน ถังปฏิกรณ์ในแต่ละขั้นตอนมีเวลากักน้ำประมาณ 12 ชั่วโมง การดำเนินการทดลองได้จัดถังปฏิกรณ์ดังกล่าวเป็น 3 ชุด ที่มีลักษณะเหมือนกัน ทำการศึกษาการลดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียจากการย้อมของโรงฟอกย้อมจำนวน 3 โทนสี โดยใช้น้ำจากการย้อมครั้งที่ 1 มาเจือจางให้ได้ความเข้มสีใกล้เคียงกับน้ำเสียจริงที่จะระบายจากโรงฟอกย้อมและทำให้เท่ากันทุกโทนสี เติมแหล่งคาร์บอนให้กับระบบด้วยแป้งมันละลายน้ำในน้ำร้อนให้มีความเข้มข้นซีโอดี 3 ค่า สำหรับการทดลองในแต่ละโทนสีเท่ากันทุกโทนสี อัตราการสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 6 ลิตร/วัน แผนการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา คือ

- โทนสีของน้ำเสียที่ใช้ คือ 3 โทน ดังนี้ สีดำ แดง น้ำเงิน
- ความเข้มข้นแหล่งคาร์บอนที่เติมให้แก่น้ำเสียก่อนเข้าระบบ โดยในที่นี้จะใช้แป้งมันเป็นแหล่งคาร์บอน ทำการเปลี่ยนแปลงค่าเป็น 3 ค่า สำหรับทดลองกับสีทุกโทน

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรตามที่ต้องทำการวิเคราะห์ คือ

1. ความเข้มสีวัดในหน่วย SU (space unit)
2. พีเอชและอุณหภูมิ (pH, Temperature)
3. โออาร์พี (ORP)
4. สภาพด่างรวม (Total alkalinity)
5. กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid)
6. ซีโอดีรวม (Total COD)
7. ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total gas volume)
8. ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน ($\%CH_4$)
10. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (Total Organic Carbon)

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง

ชุดการทดลองที่	โทนสี	ถัง UASB ชุดที่	ความเข้มข้นแป้งมันที่เติม (มก./ลิตร)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร/วัน)	เวลากักน้ำ (ชม.)
1/1	ดำ	1	500	6	12
1/2	ดำ	2	1,000	6	12
1/3	ดำ	3	1,500	6	12
2/1	แดง	1	500	6	12
2/2	แดง	2	200	6	12
2/3	แดง	3	0	6	12
3/1	น้ำเงิน	1	500	6	12
3/2	น้ำเงิน	2	200	6	12
3/3	น้ำเงิน	3	0	6	12

3.2 การเตรียมน้ำเสีย

3.2.1 สีย้อมที่ใช้ในการทดลอง

ถึงแม้ว่า การศึกษาเกี่ยวกับการลดสีในระบบไร้อากาศมักจะกล่าวไปถึงสีย้อมประเภทอะโซเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นการกล่าวถึงสีในลักษณะสูตรโครงสร้างของสี แต่ในความเป็นจริงผู้ที่ใช้สีย้อมส่วนใหญ่มักจะไม่มีความรู้ในเรื่องโครงสร้างของสี ประกอบกับโครงสร้างต่างๆ ของสีนั้น ก็มีการพัฒนากันอยู่เสมอโดยผู้ผลิตสียี่ห้อต่างๆ จึงทำให้มีโครงสร้างสีที่แตกต่างกันมาก นอกจากนี้ โครงสร้างของสีเหล่านี้ยังเป็นความลับทางการค้าอีกด้วย สีที่ผลิตขึ้นมาในระยะหลังจึงไม่มีการเปิดเผยสูตรโครงสร้างให้เป็นที่ทราบกันเท่าใดนัก ดังนั้น ในการทดลองนี้ใช้เกณฑ์การแบ่งสีตามลักษณะการนำไปใช้งานเป็นเกณฑ์ในการเลือกสีที่จะใช้ในการทดลอง โดยประเภทของสีที่เลือกใช้ในการทดลองคือ สีรีแอกทีฟ เพราะสีชนิดนี้โดยส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างของพันธะอะโซ และคุณสมบัติโดยรวมที่เหมือนกันคือ มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และมีกลุ่มรีแอกทีฟซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีเฉพาะในสีย้อมรีแอกทีฟเท่านั้น

ด้วยสาเหตุดังกล่าวข้างต้น ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สีรีแอกทีฟโดยไม่คำนึงถึงสูตรโครงสร้างของสี แต่ไปพิจารณาเลือกโทนสีที่แตกต่างกันไป โดยเลือกโทนสีที่มีการใช้งานมากในโรงงานเพื่อเป็นตัวแทนของสีย้อมรีแอกทีฟทั่วไป

3.2.2 การเตรียมน้ำเสียสำหรับการทดลอง

เนื่องจากน้ำเสียจากการย้อมมักจะมีของแข็งละลายเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เพราะมีการเติมสารเคมีหลายชนิด เช่น สารช่วยย้อมต่างๆ ทำให้การสังเคราะห์น้ำเสียเพื่อเลียนแบบน้ำเสียจากการย้อมจริงเป็นไปได้ยากและไม่เหมาะสม แต่การใช้น้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงจากโรงงานฟอกย้อมก็ทำให้เกิดปัญหากับการทดลองนี้เช่นกัน เนื่องจากการทดลองต้องการควบคุมให้ค่าซีโอดีและความเข้มสี (วัดโดยร้อยละแอ็บซอบแบนซ์) ของน้ำเสียที่นำมาทำการศึกษามีค่าคงที่ ดังนั้นเพื่อขจัดปัญหาความไม่คงที่ของลักษณะของน้ำเสีย แต่ยังสามารถรักษาลักษณะให้ใกล้เคียงกับน้ำย้อมจริงมากที่สุด น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้จึงเป็นน้ำเสียที่เก็บมาจากกระบวนการฟอกย้อมในขั้นตอนที่ 1 (รูปที่ 2.24) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่น้ำเสียมีความเข้มสีสูง นำมาทำให้เจือจางจนมีความเข้มสีใกล้เคียงกับน้ำเสียจริงของโรงฟอกย้อมนี้

การเตรียมน้ำเสียมีสีย้อมด้วยวิธีนี้ มีข้อดีหลายประการ คือ การเก็บน้ำจากโรงงานสามารถเก็บได้ในคราวเดียวสำหรับการทดลองสีหนึ่งๆ เพราะปริมาณที่ใช้จริงไม่มากจนเกินไป และน้ำเสียความเข้มสีสูงนี้ ยังสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานานโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเท่าใดนัก ซึ่งพิจารณาได้จากลักษณะน้ำเสียที่เตรียมตลอดการทดลองของทุกการทดลองในบทที่ 4 (สามารถเตรียมให้มีความคงที่ด้วยการเจือจางอัตราส่วนเดิมตลอดการทดลอง) ทำให้สามารถควบคุมคุณสมบัติน้ำเสียที่เตรียมสำหรับการทดลอง ให้มีลักษณะเดียวกันตลอดการทดลองได้

การเจือจางน้ำเสียความเข้มสีสูงให้มีความเข้มสีใกล้เคียงกับน้ำเสียจริง คือ เจือจางด้วยน้ำประปาให้มีความเข้มสีเหลือประมาณ 150 SU สำหรับทุกโทนสี จากนั้นนำมาเติมแหล่งคาร์บอน (แป้งมัน) ให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ค่า (ตารางที่ 3.1) นอกจากนี้ก็ยังมีการเติมสภาพด่างโดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต และมีส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารอาหารที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียให้แก่แบคทีเรีย

ส่วนประกอบ	อัตราส่วนที่เติมให้ระบบ	หมายเหตุ
$NaHCO_3$ ยูเรีย (Urea) และ K_2HPO_4	$NaHCO_3$:COD_T = 0.5:1 COD_T:N:P = 100:5:1.1	COD_T คือ COD ของน้ำเสียรวมกับ COD คาร์บอนที่เติมให้

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ถังยูเอเอสบี

ในการทดลองนี้จะใช้ถังยูเอเอสบีจำนวน 3 ถัง แต่ละถังมีปริมาตรรวมทั้งหมดประมาณ 3 ลิตร ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ส่วนดังนี้ (รูปที่ 3.1)

1) ตัวถังทรงกระบอก เป็นส่วนที่บรรจุเชื้อแบคทีเรียที่ใช้บำบัดน้ำเสียทำด้วยพลาสติกอะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว (55 มม.) มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 20 ตารางเซนติเมตร ความสูงประมาณ 1 เมตร

2) อุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS device) อยู่ส่วนบนของถังยูเอเอสบี ทำหน้าที่ตกตะกอนแขวนลอยซึ่งส่วนใหญ่คือเชื้อแบคทีเรียไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และแยกก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นออกจากน้ำ ประกอบไปด้วยส่วนตกตะกอนและส่วนรวบรวมก๊าซ

-ส่วนตกตะกอน ทำด้วยข้อลดพีวีซีขนาด 11.5 ซม. เป็น 5.5 ซม. หนาประมาณ 7.5 มม.

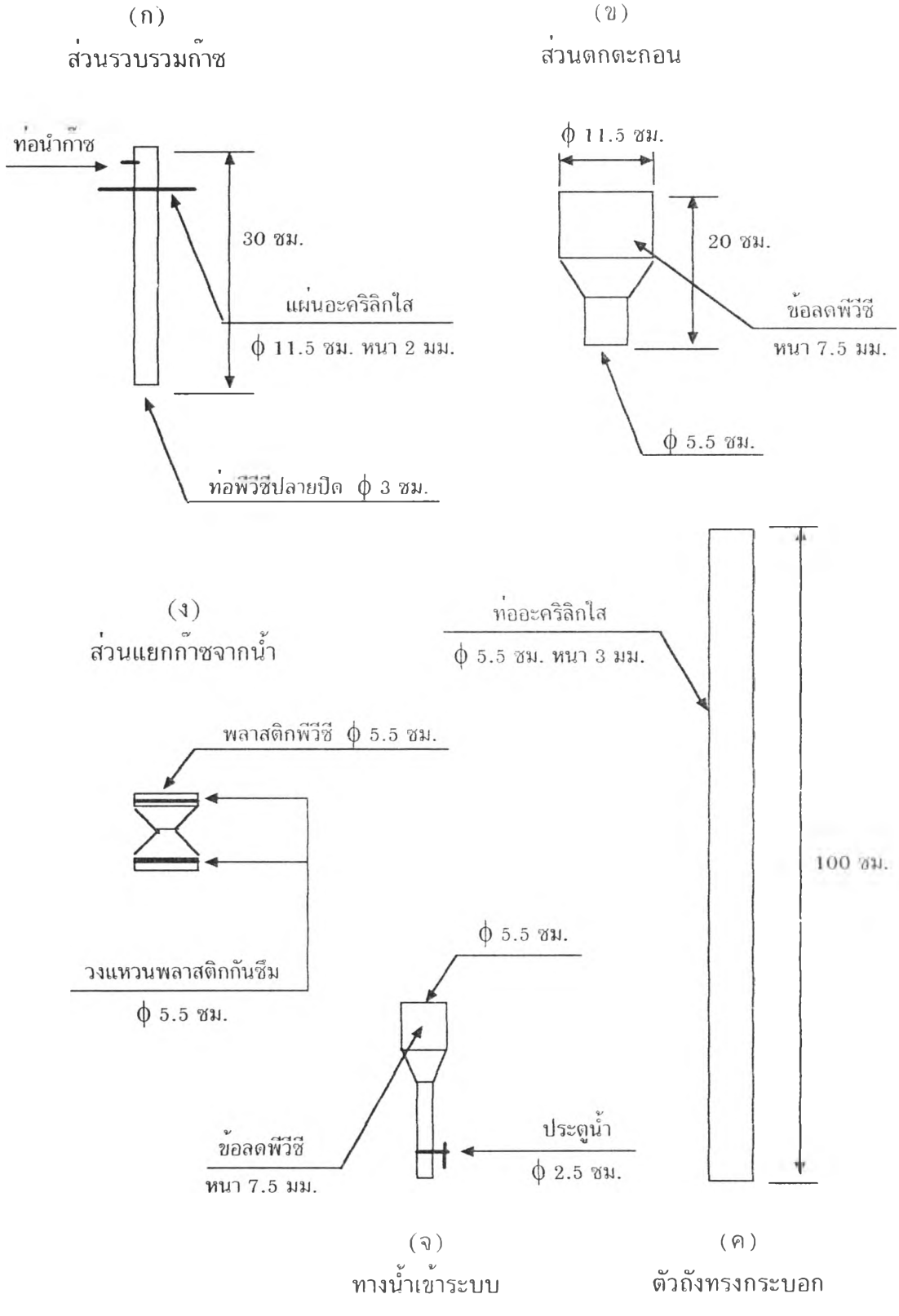
-ส่วนรวบรวมก๊าซ ทำด้วยท่อพีวีซีปลายปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ซม. และมีท่อนำก๊าซที่ด้านบนของท่อต่อไปเข้าสู่เครื่องวัดปริมาณก๊าซ

-ส่วนแยกก๊าซออกจากน้ำ ทำด้วยพลาสติกพีวีซีมีลักษณะดังในรูปที่ 3.1

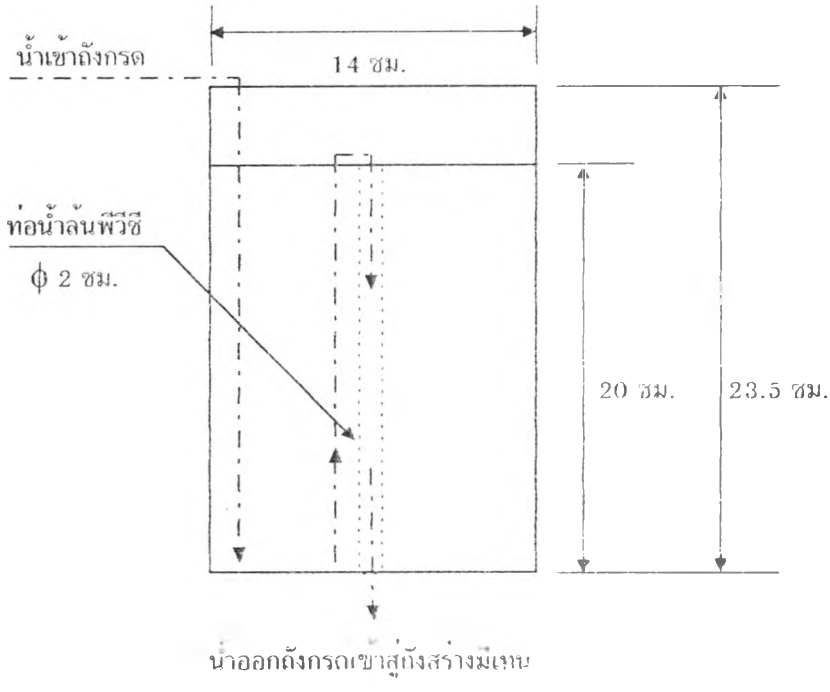
3) ทางน้ำเข้าระบบ อยู่ด้านล่างสุดของถัง ทำจากข้อลดพีวีซีขนาด 2.5 ซม. เป็น 5.5 ซม. ต่อกับวาล์วเพื่อใช้ปิดเปิดทางน้ำเข้านี้

3.3.2 ถังสร้างกรด

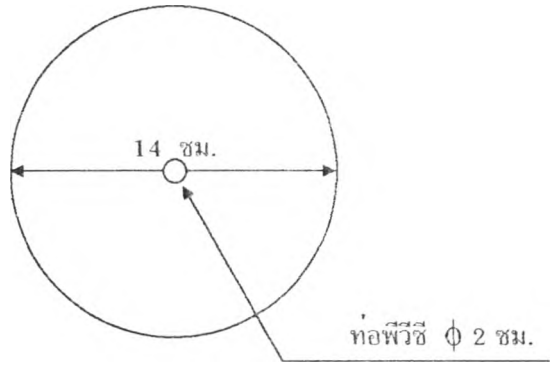
ในการทดลองนี้ใช้ถังสร้างกรดจำนวน 3 ถัง สำหรับถังยูเอเอสบีแต่ละชุด ทำด้วยกระป๋องพลาสติก มีปริมาตรประมาณ 3 ลิตร นำมาเจาะรูที่กึ่งกลางก้นกระป๋อง และติดท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3/4 นิ้ว ผ่านรูที่เจาะนี้ ให้ปลายท่อสูงเกือบเท่าปากกระป๋อง ทำหน้าที่เป็นท่อน้ำล้นเพื่อเข้าสู่ถังยูเอเอสบีต่อไป การทำงานของถังสร้างกรดนี้เริ่มต้นด้วยการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังเปล่านี้ตั้งแต่แรก โดยไม่มีการเติมเชื้อแบคทีเรียใดๆ ให้ แต่ให้ถังมีระยะเวลากักน้ำ 12 ชั่วโมง ก่อนจะเข้าสู่ท่อน้ำล้น รายละเอียดถังสร้างกรด แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 รายละเอียดถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง



(ก) รูปด้านข้าง



(ข) รูปด้านบน

รูปที่ 3.2 รายละเอียดถังสร้างกรดที่ใช้ในการทดลอง

3.3.3 เครื่องสูบน้ำเสีย

เนื่องจากไม่สามารถหาเครื่องสูบน้ำชนิดเดียวกัน 3 เครื่องได้ ในการทดลองนี้จึงใช้เครื่องสูบน้ำเสีย 2 ชนิด โดยปรับให้มีอัตราการไหลเท่ากันทั้ง 3 เครื่อง คือ 6 ลิตร/วัน ดังนี้

ชนิดไดอะแฟรม (Diaphram pump) ยี่ห้อ N-feeder มีอัตราสูบสูงสุดประมาณ 1.2 ลิตร/วัน จำนวน 1 เครื่อง

ชนิดรีดสาย (Peristatic pump) ยี่ห้อ Watson-Marlow ใช้สายยางซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 มม. จำนวน 2 เครื่อง

3.3.4 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ (Gas meter)

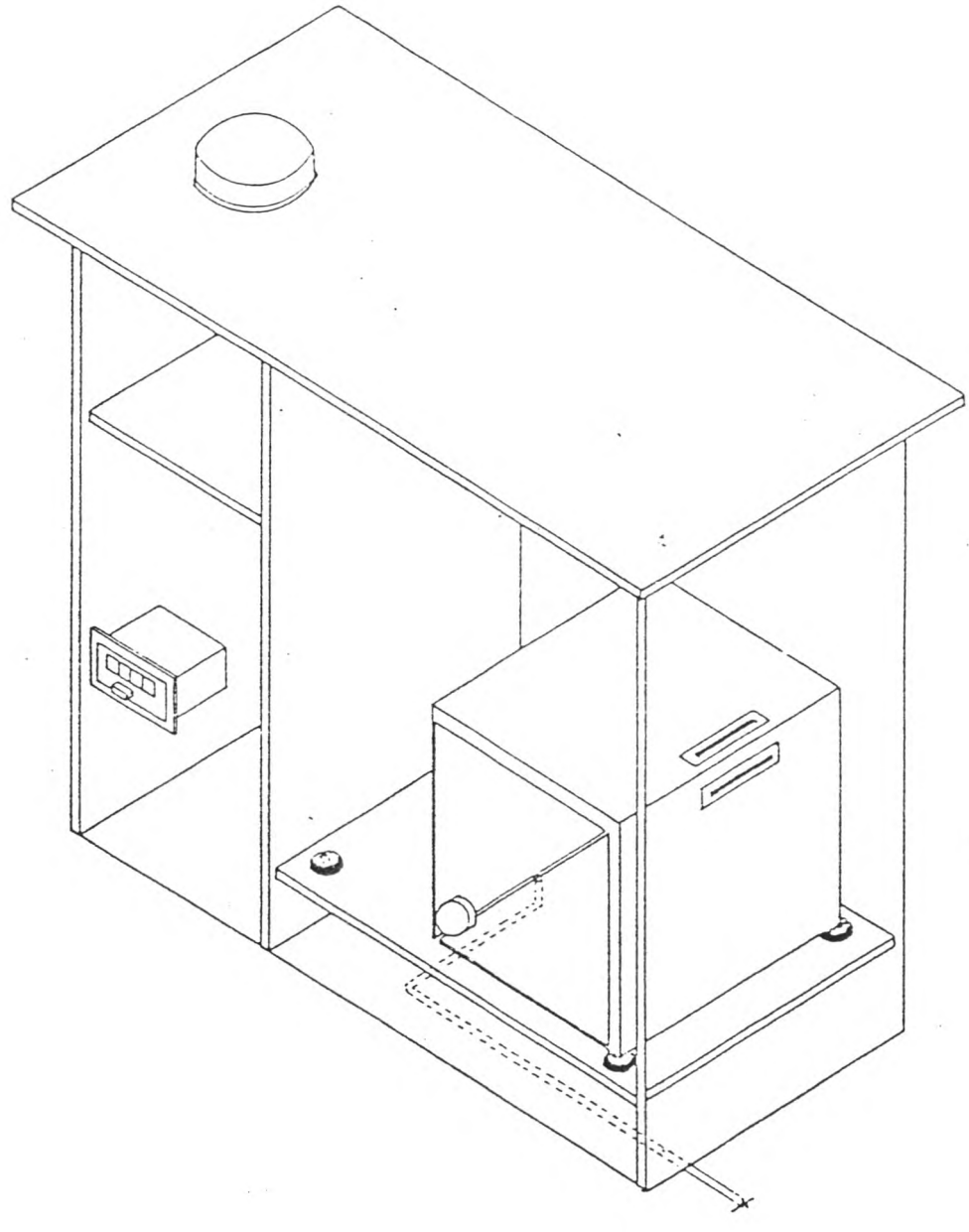
เครื่องวัดปริมาณก๊าซที่ใช้จำนวนทั้งหมด 3 เครื่อง โดยมีลักษณะตามแบบของศักดิ์ชัย (2527) ดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.3.5 ถังพักน้ำเสีย และถังพักน้ำทิ้งจากระบบ

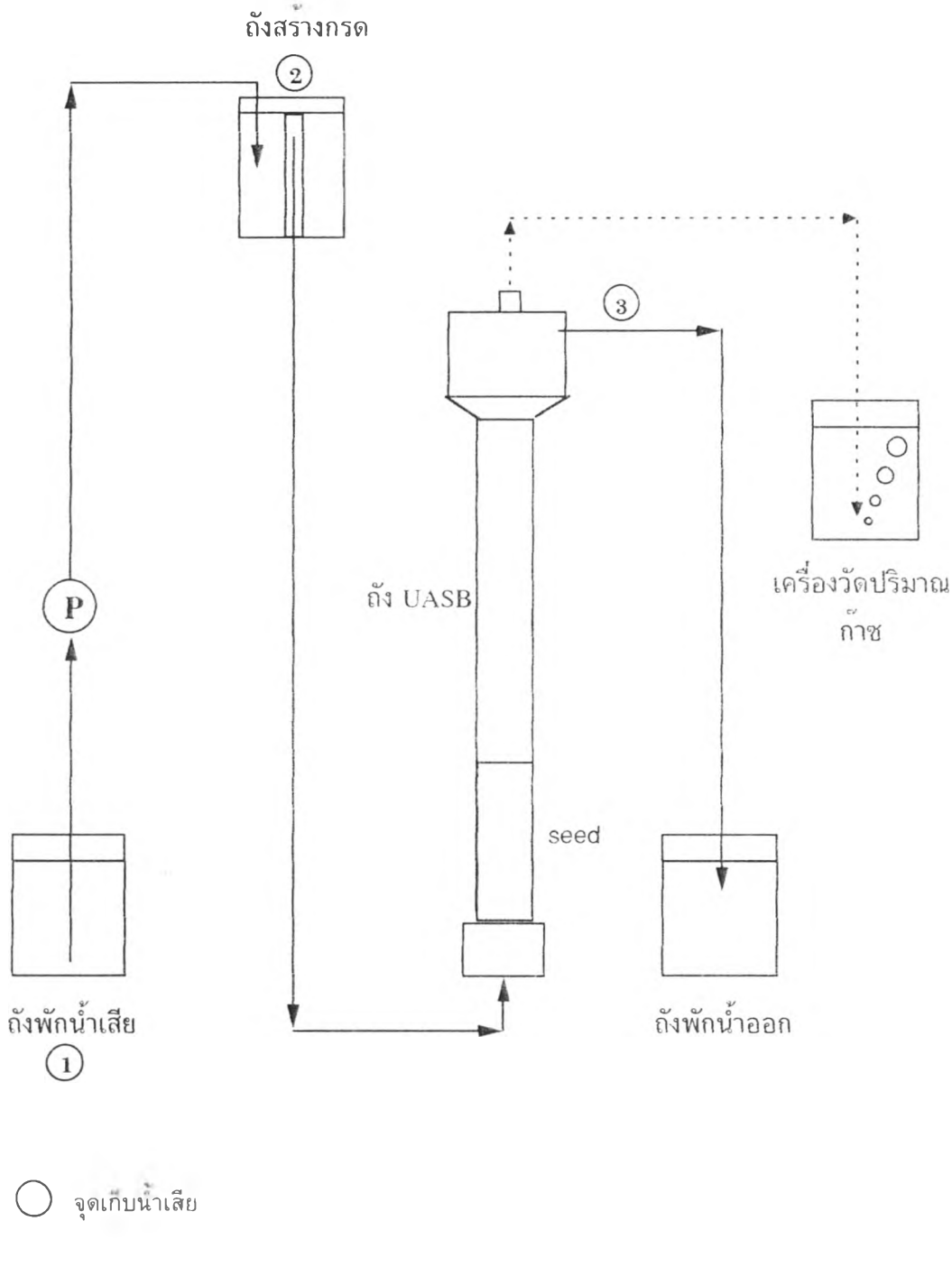
ใช้ถังน้ำพลาสติกธรรมดา ปริมาตรประมาณ 12 ลิตร โดยการเตรียมน้ำเสียใหม่ทุกครั้งในแต่ละวัน จะทำการล้างถังนี้ให้สะอาดก่อนทุกครั้ง

3.4 การเดินระบบและการควบคุมระบบ

ระบบยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นระบบยูเอเอสบีแบบ 2 ขั้นตอน คือ มีขั้นตอนการสร้างกรดก่อน และตามด้วยขั้นตอนการสร้างมีเทน โดยเครื่องสูบน้ำจะสูบน้ำเสียในอัตรา 6 ลิตร/วัน เข้าสู่ถังสร้างกรดที่อยู่ในระดับสูงกว่าทางน้ำออกของถังยูเอเอสบี มีเวลากักน้ำประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้น จะไหลล้นเข้าสู่ท่อล้นที่อยู่ตรงกลางถังสร้างกรด แล้วไหลลงสู่ทางน้ำเข้าด้านล่างของถังยูเอเอสบีซึ่งเป็นถังอะคริลิกใส และมีเชื้อแบคทีเรียของระบบยูเอเอสบีอยู่ น้ำจะไหลขึ้นผ่านชั้นของแบคทีเรีย และผ่านส่วนแยกก๊าซของอุปกรณ์แยกสามสถานะ ก๊าซที่เกิดจะไหลขึ้นตรงเข้าสู่ท่อรวบรวมก๊าซและออกไปทางท่อนำก๊าซเข้าสู่เครื่องวัดปริมาณก๊าซ ส่วนน้ำจะไหลเข้าสู่ส่วนตกตะกอนของอุปกรณ์แยกสามสถานะ แยกตะกอนแขวนลอยให้ตกกลับไปในระบบใหม่ และน้ำก็จะไหลออกไปทางท่อน้ำทิ้งที่อยู่ติดกับส่วนตกตะกอนนี้แบะไหลทิ้งไป ลักษณะการเดินระบบของระบบยูเอเอสบีนี้แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ



รูปที่ 3.4 การติดตั้งระบบยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง

การเดินระบบที่บำบัดน้ำเสียที่มีแป้งมันนี้ มักจะพบปัญหาการอุดตัน เนื่องจากน้ำเสียแป้งมันเมื่อเริ่มมีการหมักจะมีลักษณะเหนียวเป็นเมือก ทำให้เกิดการอุดตันโดยเฉพาะบริเวณข้อต่อของสวนท่อน้ำล้น และสายยางที่ต่อเข้าสู่ถังยูเอเอสบี อีกทั้งพบการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำตามสายยาง ซึ่งในงานวิจัยของ เนตรนภา ศรุตวราพงศ์ (2540) พบว่าตะไคร่น้ำจะจับผิวภายในของถังยูเอเอสบีด้วย ทำให้ถังยูเอเอสบีสกปรกและไม่สามารถมองเห็นเชื้อแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังได้ และตะไคร่น้ำยังสามารถสังเคราะห์แสงและผลิตก๊าซออกซิเจนที่เป็นผลเสียต่อแบคทีเรียในระบบได้ด้วย

การแก้ปัญหาตะไคร่น้ำในถังยูเอเอสบี ทำโดยการคลุมถังด้วยถุงพลาสติกสีดำตั้งแต่เริ่มติดตั้งและเดินระบบในการทดลอง สายยางที่ใช้เป็นท่อน้ำเข้าถังยูเอเอสบีและท่อน้ำออก ก็ต้องทำการล้างหรือเปลี่ยนใหม่ประมาณเดือนละครั้ง สวนปัญหาเรื่องการอุดตันในบริเวณท่อน้ำล้นเข้าถังยูเอเอสบีนั้น ได้ใช้ไม้แหลมเล็กเขี่ยทำความสะอาดเพื่อไล่เมือกต่างๆ ที่อุดตันอยู่ให้หลุดออกไป นอกจากนี้ในภายหลังพบว่า การหมั่นตักฝ้าไข (scum) ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของถังสร้างกรดออกบ่อยๆ สามารถช่วยลดความเหนียวและช่วยลดเมือกเหนียวที่มักจะล้นเข้าไปในท่อน้ำล้น ทำให้ปัญหาอุดตันลดลงได้

การควบคุมอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ โดยการเตรียมน้ำปริมาณ 6 ลิตรต่อวัน ทุกวัน และคอยสังเกตเวลาที่น้ำในถังพักน้ำเสียหมด ซึ่งควรจะใกล้เคียงกัน ถ้าไม่ได้ก็จะมีการปรับแต่งอัตราสูบน้ำให้ได้ และโดยเฉพาะในเครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรมก็จะทำการล้างสายยาง วาล์ว และแผ่นไดอะแฟรมเป็นครั้งคราว เพื่อลดความสกปรกที่จะทำให้เกิดการอุดตัน ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการสูบน้ำในระบบนี้ค่อนข้างต่ำ ทำให้การขยับแผ่นไดอะแฟรมของเครื่องสูบน้ำมีน้อย และเมื่อมีความสกปรกหรือมีอากาศเข้าไปในสายยางที่เข้าเครื่องสูบน้ำก็จะทำให้เครื่องสูบน้ำหยุดเดินไปเอง ส่วนในเครื่องสูบน้ำแบบรีดสายนั้น ปัญหาเรื่องการอุดตันมักจะไม่มี แต่ปัญหาส่วนใหญ่จะอยู่ที่สายยางซิลิโคนที่ถูกรีดสายแทน เพราะเมื่อสายยางถูกรีดมากๆ ก็จะเสื่อมและแตกได้ ต้องคอยสังเกตและเปลี่ยนสายยางเหล่านี้ก่อนที่จะเกิดการแตกขึ้น

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

3.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่สำคัญ 3 ตำแหน่ง (รูปที่ 3.4) คือ

1) จากถังเก็บน้ำเสียที่จะป้อนเข้าระบบ

2) จากถังสร้างกรด

3) จากน้ำทิ้งที่ออกจากยูเอเอสบี

3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพของน้ำ ได้แก่ ร้อยละแอ็บซอบแบนซ์ พีเอช อุณหภูมิ โออาร์พี สภาพความเป็นด่างรวม กรดไขมันระเหย ซีโอดีรวม ปริมาณก๊าซทั้งหมด ร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม โดยวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใช้วิธีตามหนังสือ Standard Methods ส่วนความถี่และตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งถึงสภาวะสมดุลของระบบจึงยุติการทดลองนั้นๆ

แผนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แผนการเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์

ตัวแปรตาม	จุดเก็บตัวอย่าง			ความถี่ใน	วิธีวิเคราะห์
	น้ำเสีย	ในถังกรด	น้ำออก	การวิเคราะห์	
พีเอชและอุณหภูมิ	/	/	/	ทุกวัน	เครื่องวัดพีเอช HORIBA รุ่น F-13
โออาร์พี		/	/	ทุกวัน	เครื่องวัดโออาร์พี 1) Metrohm รุ่น 744 pH Meter 2) Radiometer รุ่น PHM80
สภาพด่างทั้งหมด	/	/	/	จันทร์,พุธ,ศุกร์	วิธีไทเทรต
กรดไขมันระเหย	/	/	/	จันทร์,พุธ,ศุกร์	วิธีไทเทรต
ซีโอดีทั้งหมด	/	/	/	จันทร์,พุธ,ศุกร์	Closed Reflux
ปริมาณก๊าซทั้งหมด				ทุกวัน	เครื่องวัดปริมาณก๊าซแบบของหัวเชื้อ (2527)
เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน				อาทิตย์ละครั้ง	เครื่องออร์แสท
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC)	/	/	/	จันทร์,พุธ,ศุกร์	เครื่องวัด TOC รุ่น Shimadzu TOC-5000
ความเข้มสีวัดในหน่วย SU				ทุกวัน	เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer รุ่น Shimadzu UV-1201