

## บทที่ 3

### การวางแผนการวิจัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีจำนวน 3 ถังที่มีลักษณะเหมือนกัน น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน (สูตรเคมี  $C_{12}H_{22}O_{10}$ ) ทำการทดลองทั้งสิ้น 10 การทดลอง โดยแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดละ 3 การทดลอง 2 ชุด และชุดละ 2 การทดลอง 2 ชุด โดยแสดงแผนการทดลองไว้ในตารางที่ 3.1

#### ตัวแปรอิสระที่ต้องกำหนดให้คงที่ คือ

- อัตราการสูบน้ำเสียสังเคราะห์เข้าระบบ เท่ากับ 8 ลิตร/วัน เท่ากันหมดทุกการทดลอง
- สารอาหารซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์สำหรับแบคทีเรีย คือ น้ำตาลทราย

#### ตัวแปรอิสระที่ต้องทำการศึกษา คือ

- อัตราส่วนซีไอคือซีพี 2 ค่า คือ 2 และ 4
- ความเข้มข้นซีไอในแต่ละการทดลอง 5 ค่า คือ 400, 600, 800, 1,000 และ 1,200 มก./ล.
- ความเข้มข้นซีพีตามอัตราส่วนซีไอคือซีพี โดยที่อัตราส่วนเท่ากับ 2 ความเข้มข้นซีพีจะเป็น 200, 300, 400, 500 และ 600 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่ออัตราส่วนเท่ากับ 4 ความเข้มข้นซีพีจะเป็น 100, 150, 200, 250 และ 300 มก./ล. ตามลำดับ

#### ตัวแปรตามที่ต้องทำการวิเคราะห์ คือ

1. พีเอช และอุณหภูมิ
2. ไออาร์พี
3. สภาพการนำไฟฟ้า
4. ของแข็งละลาย
5. สภาพความเป็นด่างทั้งหมด
6. กรดไขมันระเหย
7. ซีไอรวม ไกลซ์ลไฟด์
8. ซีไอละลาย ไกลซ์ลไฟด์

9. ปริมาณซัลเฟต
10. ปริมาณซัลไฟด์รวม
11. ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
12. ปริมาณก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์
13. ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง

ลำดับ ที่	ลำดับ ชุดการ ทดลอง	ถัง ปฏิกรณ์	ปริมาตร น้ำเสีย (ลิตร)	เวลาดัก (ชั่วโมง)	ซีโอดีไหล (กก./ลบ.ม.-วัน)	ความเข้มข้น (มก./ล.)		อัตราส่วน
						ซีโอดี	ซัลเฟต	ซีโอดีต่อ ซัลเฟต
1	1/1	1	8	9	1.07	400	200	2
2	1/2	2	8	9	3.20	1200	600	2
3	1/3	3	8	9	2.13	800	400	2
4	2/1	1	8	9	1.07	400	100	4
5	2/2	2	8	9	2.67	1000	500	2
6	2/3	3	8	9	1.60	600	300	2
7	3/1	2	8	9	3.20	1200	300	4
8	3/2	3	8	9	2.13	800	200	4
9	4/1	2	8	9	2.67	1000	250	4
10	4/2	3	8	9	1.60	600	150	4

การป้อนน้ำเสียถึงเครื่องเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีป้อนด้วยเครื่องสูบน้ำในอัตราสูบ 8 ลิตร/วัน ทำกันทุกๆการทดลอง ซึ่งจะใช้เวลาถักน้ำในถังปฏิกรณ์ 9 ชั่วโมง ทำการเก็บผลอย่างค่อเนื่องด้วยการวัดทารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็นของน้ำเข้าและออกจากระบบ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวของแต่ละการทดลอง ซึ่งจะเก็บผลการทดลองที่สภาวะคงตัวเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ผลและคำนวณค่าต่างๆเพื่อสรุปผลการทดลองและนำมาใช้ตอบคำถามของวัตถุประสงค์งานวิจัยที่กำหนดขึ้น และเพื่อให้สามารถเห็นภาพแผนการทดลองได้ง่ายขึ้นจะแสดงค่าความเข้มข้นซีโอดี และความเข้มข้นซัลเฟตที่ใช้ในแต่ละถังปฏิกรณ์ที่ชุดการทดลองต่างๆ โดยแสดงเป็นตารางดังตารางที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 ระดับความเข้มข้นซีโอดี และซัลเฟตในแต่ละชุดการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 1

ความเข้มข้น(มก./ล.)	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 4
400	ซีโอดี	ซีโอดี	-	-
200	ซัลเฟต	-	-	-
100	-	ซัลเฟต	-	-

ตารางที่ 3.3 ระดับความเข้มข้นซีโอดี และซัลเฟตในแต่ละชุดการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 2

ความเข้มข้น(มก./ล.)	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 4
1200	ซีโอดี	-	ซีโอดี	-
1000	-	ซีโอดี	-	ซีโอดี
600	ซัลเฟต	-	-	-
500	-	ซัลเฟต	-	-
300	-	-	ซัลเฟต	-
250	-	-	-	ซัลเฟต

ตารางที่ 3.4 ระดับความเข้มข้นซีโอดี และซัลเฟตในแต่ละชุดการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 3

ความเข้มข้น(มก./ล.)	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 4
800	ซีโอดี	-	ซีโอดี	-
600	-	ซีโอดี	-	ซีโอดี
400	ซัลเฟต	-	-	-
300	-	ซัลเฟต	-	-
200	-	-	ซัลเฟต	-
150	-	-	-	ซัลเฟต

## 3.2 การสังเคราะห์และเตรียมน้ำเสีย

### 3.2.1 การสังเคราะห์น้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ จะเป็นการนำน้ำประปามาสังเคราะห์ด้วยน้ำตาลทราย และสารเคมีต่างๆให้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีจุดประสงค์หลักของการปรุงแต่ง คือการตอบสนองต่อการตอบคำถามของวัตถุประสงค์การวิจัย ซึ่งเฉพาะเจาะจงในส่วนของความเข้มข้นซีไอดี และซีดีพี นอกจากนั้นเนื่องจากเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบชีวภาพในกระบวนการไร้อากาศ ทำให้จุดประสงค์ของการสังเคราะห์นอกเหนือจากจุดประสงค์หลักดังกล่าว จะเป็นไปเพื่อให้ น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไร้อากาศทั้งในเชิงของธาตุอาหารสำคัญต่างๆที่จำเป็น และในเชิงของการรักษาระดับพีเอชภายในระบบให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย

ในเชิงของธาตุอาหารสำคัญต่างๆที่จำเป็น ชนิดธาตุอาหารหลักที่เลือกเติม คือ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และเหล็ก โดยเติมในรูป ยูเรีย, โซเดียมฟอสเฟต และ เฟอร์ริกคลอไรด์ ตามลำดับ ขณะที่ชนิดธาตุอาหารรองที่แบคทีเรียมีความต้องการเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าขาดจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เลือกเติม คือ นิกเกิล และ โคบอลต์ สำหรับธาตุอาหารรองชนิดอื่นๆ ถือว่ามีปริมาณเพียงพอในน้ำประปาแล้ว

สำหรับในเชิงของการรักษาระดับพีเอชภายในระบบ ได้ทำการเติมสารเคมีที่ให้ค่าสภาพต่างกับระบบ โดยชนิดสารเคมีที่เลือกใช้คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) นอกจากนั้นสิ่งสำคัญที่จะต้องตรวจสอบด้วยการคำนวณก่อนสำหรับการเติมสารเคมีเพื่อให้ได้สูตรน้ำเสียสังเคราะห์ที่ต้องการ คือ ความเข้มข้นของไอออนบวกบางชนิด คือ  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  โดยเฉพาะไอออน  $\text{Na}^+$  เนื่องจากมีปริมาณที่เติมมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ถ้ามีมากเกินไปหรือส่งผลกระทบต่อตัวร่วมกับไอออนชนิดอื่น โดยสูตรน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละชุดการทดลองหลัง การเปลี่ยนแปลงรายละเอียดการทดลอง แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สูตรน้ำเลี้ยงถังเคราะห์แต่ละชุดการทดลอง

ส่วนประกอบ	หน่วย	ลำดับชุดการทดลอง									
		1/1	1/2	1/3	2/1	2/2	2/3	3/1	3/2	4/1	4/2
น้ำคาลทราย <sup>*</sup>	มก.	326	978	652	326	815	489	978	652	815	489
โซเดียมซัลเฟต <sup>**</sup>	มก.	888	592	296	740	296	148	444	444	370	222
โซเดียมไบคาร์บอเนต <sup>**</sup>	มก.	504	1512	1008	504	1260	756	1512	1008	1260	756
ยูเรีย	มก.	52	35	17	44	35	17	52	26	44	26
โซเดียมฟอสเฟต	มก.	32	21	11	27	21	11	32	16	27	16
เฟอร์ริกคลอไรด์	มก.	0.63	1.88	1.25	0.63	1.56	0.94	1.88	1.25	1.56	0.94
นิกเกิลคลอไรด์	มก.	0.063	0.188	0.125	0.063	0.156	0.094	0.188	0.125	0.156	0.094
โคบอลต์คลอไรด์	มก.	0.063	0.188	0.125	0.063	0.156	0.094	0.188	0.125	0.156	0.094
น้ำประปา	ลิตร	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

\* น้ำคาลทรายขาวมิตรผล

\*\* NaHCO<sub>3</sub> และ Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ที่ใช้เป็นสารเคมีเกรดอุตสาหกรรม (industrial grade)

สำหรับสัดส่วนในการเติมค่าสภาพต่าง ธาตุอาหารหลักและรองที่เลือกเติมในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สัดส่วนในการเติมค่าสภาพต่าง ธาตุอาหารหลักและรองที่เลือกเติม

ส่วนประกอบที่เติม	อัตราส่วนที่เติมให้กับระบบ
โซเดียมไบคาร์บอเนต	COD:Total Alk = 1:0.75
ยูเรีย และ โซเดียมฟอสเฟต	COD:N:P = 100:2:0.5
เฟอร์ริกคลอไรด์ นิกเกิลคลอไรด์ โคบอลต์คลอไรด์	COD:Fe:Ni:Co = 100:0.07:0.007:0.007

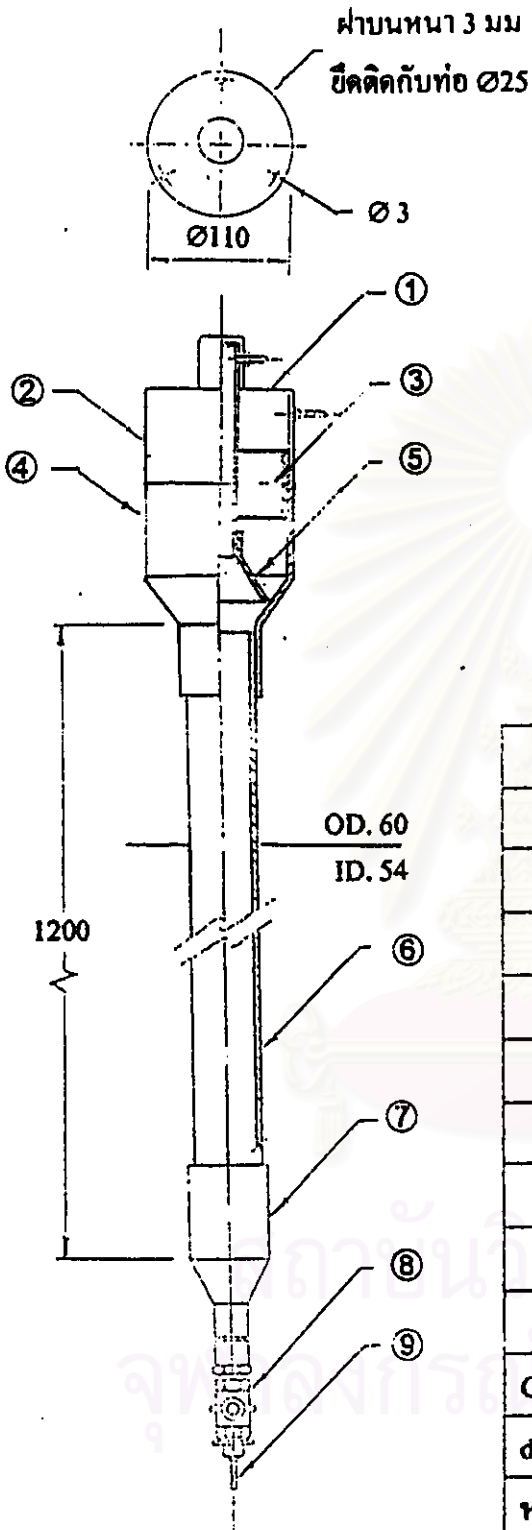
### 3.2.2 การเตรียมน้ำเสีย

ในการเตรียมน้ำเสียตามสูตรการสังเคราะห์ของแต่ละการทดลองจะเป็นการแยกเตรียมที่ละถัง ดัง นั้นในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 จะเป็นการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสูตรในการสังเคราะห์ที่ต่างกัน 3 ถัง และในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 จะเป็นการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสูตรในการสังเคราะห์ที่ต่างกัน 2 ถัง โดยใช้น้ำประปาเค็มจนได้น้ำเสียสังเคราะห์ถึงละ 8 ลิตรเท่ากัน น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้จะถูกใช้หมด ภายใน 24 ชั่วโมง นอกจากนั้นเพื่อลดปัญหาการหมักที่จะเกิดขึ้นในถังพักน้ำเสียสังเคราะห์ที่จะป้อนเข้าถัง ปฏิกรณ์ จะทำการล้างและทำความสะอาดถังพักน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ก่อนเติมน้ำเสียชุดใหม่ลงในถังดังกล่าวทุกวัน ซึ่งก็สามารถลดปัญหาดังกล่าวลงไปได้ระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามในการทดลองที่มีความเข้มข้นซีโอดีสูงก็ยังพบปัญหาการหมักบ้างเล็กน้อย ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการทดลองอย่างหนึ่ง ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์หลังเตรียมจะมีค่าประมาณ 8 เนื่องจากผลของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มค่าสภาพ ค่างให้กับระบบ อย่างไรก็ตามจะไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ ทั้งนี้เพราะเมื่อน้ำเสียสังเคราะห์ถูกป้อนเข้าระบบ ในขั้นแรกจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งคาร์บอนโดยแบคทีเรีย สร้างกรด ซึ่งจะมีกรดไขมันระเหยและคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น โดยค่าสภาพค่างที่เดิมลงไปให้กับระบบจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ป้องกันการลดลงของค่าพีเอชด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้า ปริมาณค่างที่เดิมมีปริมาณเพียงพอและเหมาะสม ค่าพีเอชของระบบจะอยู่ในช่วงกลางซึ่งจะเหมาะสมต่อ การเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอันเป็นชนิดของ แบคทีเรียที่สำคัญต่อผลการทดลองของหัวข้อการวิจัยนี้

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.3.1 ถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบยูเอเอสบี

ในการทดลองจะใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจำนวน 3 ถัง ที่มีขนาดเท่ากันหมด ทำจากท่ออะคริลิกโต และท่อพีวีซีขนาด 2"(53 มม.) ความสูงในส่วนถังปฏิกรณ์เท่ากับ 1.2 ม. พื้นที่หน้าตัดประมาณ 20 ตร.ซม. ปริมาตรเท่ากับ 3 ลิตร ตอนบนเป็นอุปกรณ์แยก 3 สถานะ(GSS) มีไว้เพื่อทำหน้าที่แยกและรวบรวมก๊าซ อุปกรณ์ต่างๆส่วนใหญ่ทำจากอุปกรณ์ท่อพีวีซีรายละเอียดของถังปฏิกรณ์แสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีส่วนคก ตะกอนเซตให้ไหลกลับสู่ส่วนของถังปฏิกรณ์ ท่อน้ำเสียเข้าถังมีขนาด 1/8" ท่อน้ำเสียออกมีขนาด 1" และ ท่อน้ำก๊าซมีขนาด 1/8" ติดตั้งอยู่ที่บนของส่วนอุปกรณ์แยก 3 สถานะ(GSS) และต่อเข้ากับสายยางนำก๊าซ ผ่านเข้าตู้ดูดคักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเครื่องวัดปริมาตรก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ สรุป ลักษณะของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง แสดงในตารางที่ 3.7



ลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์แบบยูเอเอสบี	
1	ฝาบน
2	ข้อต่อตรงทิวีซี 4" คัดกริ่ง
3	ท่อตรงทิวีซี 4"
4	ข้อถดตรงทิวีซี 4"x 2"
5	ข้อถดตรงทิวีซี 3"x 1/2" คัดปลาย
6	ท่ออะคริลิก #603
7	ข้อถดตรงทิวีซี 2"x 1/2"
8	บอลทวาล์ว 1/2"
9	ข้อต่อสายยาง Ø1/2"
Concept designed by รศ.ดร. มั่นติน คัมพุดเวศม์	
designed by อรรณฤทธิ์ รื่นเรืองใจ (2542)	
หน่วย มม. มาตรฐาน N.T.S	

รูปที่ 3.1 ลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์แบบยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง

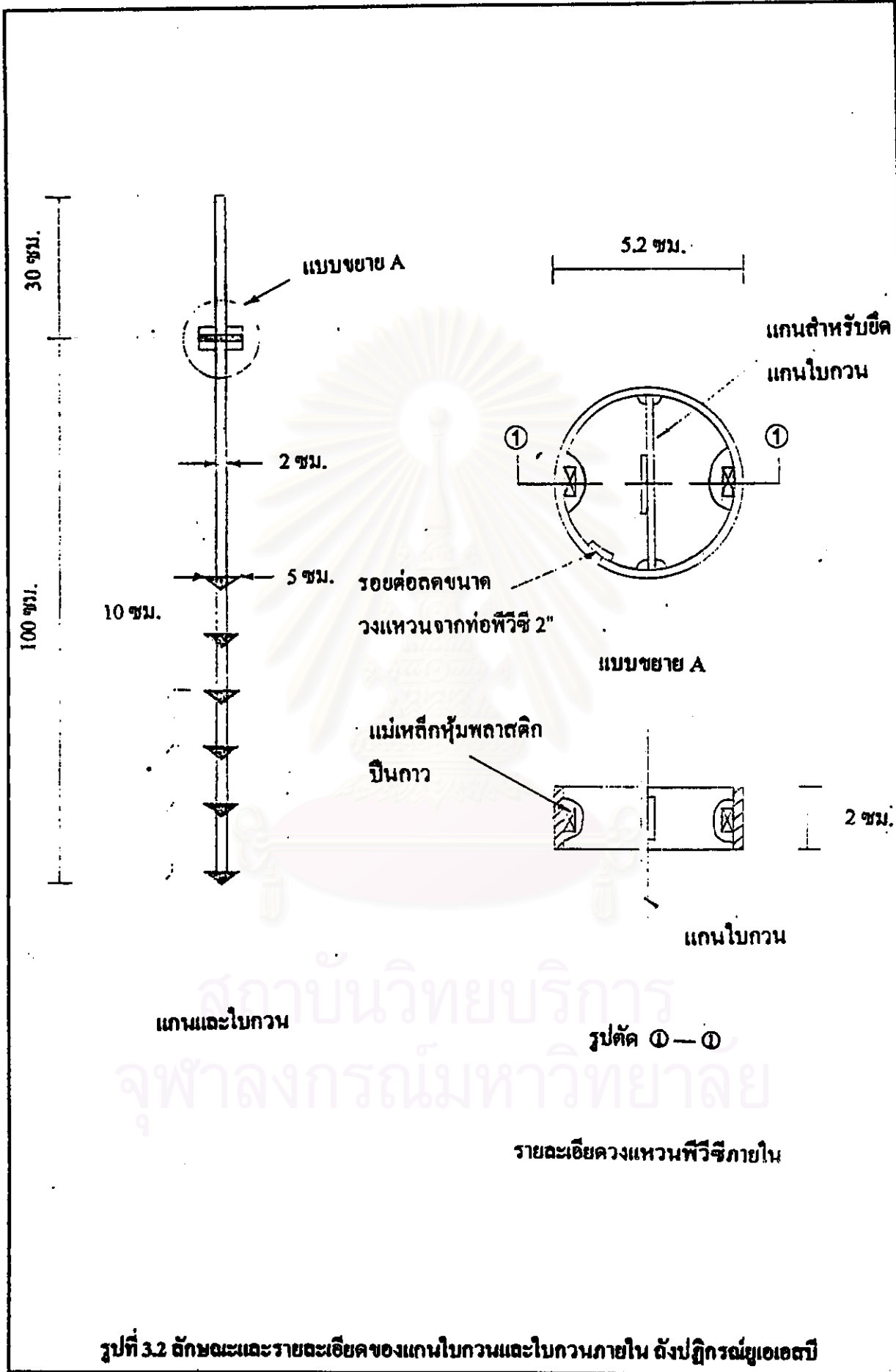
### ตารางที่ 3.7 ลักษณะของดั่งปฏิกรณ์ยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะของดั่งปฏิกรณ์ยูเอเอสบี	ขนาด
ความสูง 1.2 ม.	1.2 ม.
เส้นผ่านศูนย์กลาง	55 มม.
พื้นที่หน้าตัด	20 ตร.ซม.
ปริมาตร	3 ลิตร

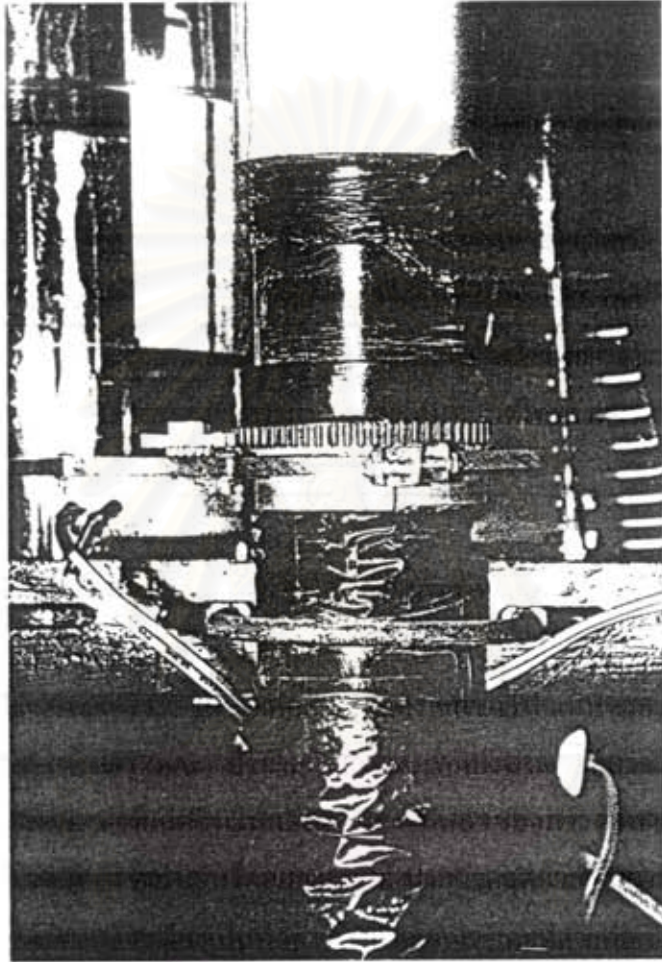
#### 3.3.2 ชุดเครื่องกวน

จุดประสงค์หลักของการติดตั้งคือการลดปัญหาการยกตัวขึ้นของชั้นสตัดจ์เนื่องจากการสะสมของก๊าซที่เกิดขึ้น โดยจะทำหน้าที่กวนชั้นของสตัดจ์ไม่ให้เกาะตัวกันแน่นซึ่งจะช่วยให้ก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถหลุดออกจากชั้นสตัดจ์ได้ โดยความเร็วรอบของการกวนมีค่าต่ำเท่ากับ 3 รอบต่อนาที เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากแรงเฉือนที่จะเกิดขึ้นต่อเม็ดแบคทีเรีย ชุดเครื่องกวนประกอบด้วยใบกวนและชุดขับ ซึ่งออกแบบและสร้างโดย อรรถวรุทธิ์ รื่นเรใจ (2542) ใบกวนทำจากแผ่นพลาสติกพีวีซีทั้งในส่วนของแกนและใบกวน โดยความสูงของใบกวนจะยาวตลอดความลึกของดั่งปฏิกรณ์ ในส่วนของชุดขับจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กติดตั้งด้านนอก แกนของมอเตอร์ติดอยู่กับเฟืองพลาสติกขนาดเล็ก ซึ่งจะไปขบกับฟันของสายพานมอเตอร์จักรเย็บผ้าไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งอยู่บนวงแหวนพีวีซีที่อยู่ภายนอกดั่งปฏิกรณ์ โดยวงแหวนพีวีซีจะมีชั้นแม่เหล็กขนาดเล็กติดอยู่ซึ่งจะทำหน้าที่ออกแรงดูดกับชั้นแม่เหล็กของวงแหวนพีวีซีอีกชั้นหนึ่งซึ่งอยู่ภายในดั่งปฏิกรณ์ที่ติดกับส่วนบนของใบกวน ดังนั้น เมื่อมอเตอร์หมุน ฟันของเฟืองพลาสติกจะไปขบกับฟันของสายพานมอเตอร์จักรเย็บผ้าไฟฟ้า ที่ติดอยู่บนวงแหวนพีวีซีที่อยู่ภายนอกที่มีชั้นแม่เหล็กขนาดเล็กติด ซึ่งจะเป็นส่วนที่สำคัญในการขับเคลื่อนชุดใบกวนซึ่งอยู่ภายในดั่งปฏิกรณ์ โดยการออกแรงแม่เหล็กดูดดึงกันไปด้วยกันกับชั้นแม่เหล็กขนาดเล็กที่ติดอยู่บนวงแหวนพีวีซีที่ติดกับส่วนบนของใบกวนซึ่งอยู่ภายในดั่งปฏิกรณ์ ซึ่งก็จะทำให้ใบกวนหมุนและทำหน้าที่กวนชั้นของสตัดจ์ไม่ให้เกาะตัวกันแน่นตามวัตถุประสงค์ของการติดตั้ง โดยวงแหวนพีวีซีจะใช้อุปกรณ์ท่อพีวีซีมาปรับแต่งให้ใช้งานได้ จุดเด่นของการขับเคลื่อนด้วยชุดขับแม่เหล็กนี้ คือ ไม่ต้องมีการเจาะช่องสำหรับต่อแกนหมุนของมอเตอร์และใบกวนเข้าที่ด้านบน ซึ่งต้องให้มีการหมุนของแกนกวนตลอดเวลา ซึ่งในรูปแบบดังกล่าวจะต้องมีรูปแบบของซีลที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ ถ้าติดตั้งมอเตอร์ที่ส่วนบนของดั่งปฏิกรณ์ แกนของมอเตอร์หรือรอยต่อระหว่างแกนมอเตอร์กับแกนใบกวน จะเป็นจุดรับแรงที่สำคัญของใบกวนที่มีความยาวตลอดความลึกถึง ซึ่งเป็นรูปแบบที่ไม่เหมาะสมโดยรายละเอียดของชุดเครื่องกวน แสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.3





รูปที่ 3.2 ลักษณะและรายละเอียดของแกนใบกวนและใบกวนภายใน ดังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 ฉากขณะของชุดขับเคลื่อนกังหันติดตั้งภายนอก ดังปฏิกรณ์ยูเอเอทีบี

### 3.3.3 ถังพักน้ำเสียป้อนเข้าระบบ

ใช้ถังพลาสติกขนาด 12 ลิตร เขียนหมายเลขประจำ เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการสับถังตั้งจากเตรียมน้ำเสีย โดยก่อนเติมน้ำเสียลงแต่ละถังพักน้ำเสียป้อนเข้าระบบจะทำการล้างถังนี้ให้สะอาดก่อนทุกครั้ง

### 3.3.4 เครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย (Peristaltic Pump)

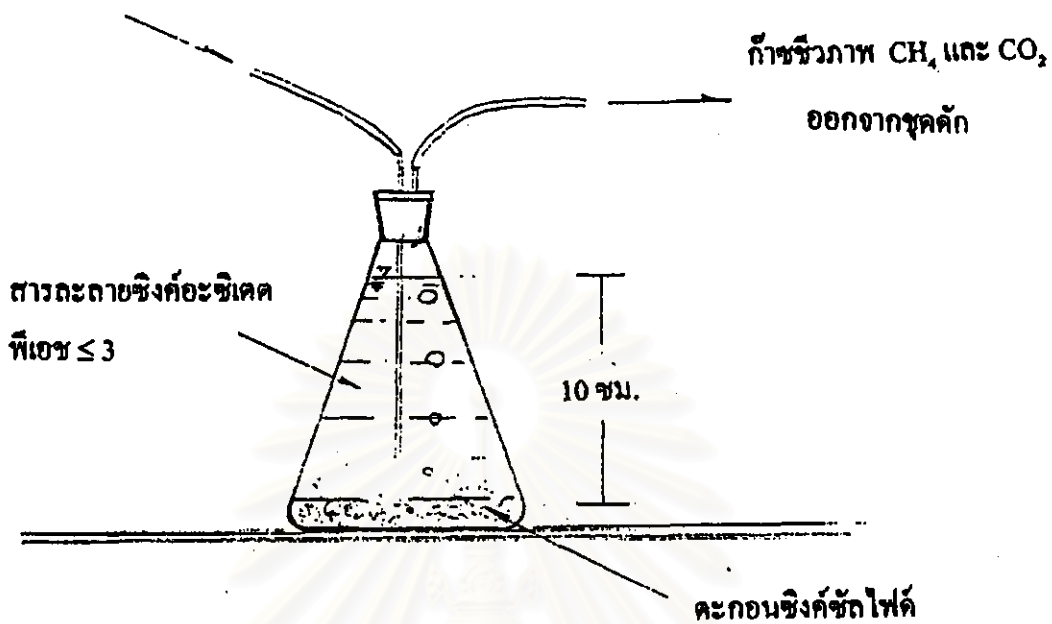
ยี่ห้อ Watson-Marlow รุ่น 505 U เหมือนกันหมดทั้ง 3 เครื่อง ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบในการหมุนของหัวรีดสายขางได้ในช่วง 0.25-55 rpm และสามารถปรับได้ละเอียดถึง 0.25rpm และที่อัตราป้อนน้ำเสียที่ต้องการเท่ากับ 8 ลิตร/วัน จะใช้สายยางซิลิโคนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 5 มม. และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3 มม. โดยตั้งความเร็วรอบหัวรีดสายไว้ที่ 3.5 rpm

### 3.3.5 ชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล.ภายในบรรจุสารละลายซิงค์อะซิเตด (ZnAc) ปริมาตร 500มล. ที่มีปริมาณซิงค์อะซิเตดมากเกินไปสำหรับทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ค่าพีเอชของสารละลายดังกล่าวมีค่าประมาณ 3 ซึ่งถือว่าไม่สามารถดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ปากขวดอุดด้วยจุกยางสีน้ำตาลและเจาะรู สำหรับสอดท่อแก้วนำก๊าซขนาด 1/8" จำนวน 2 ท่อ เป็นท่อก๊าซเข้าและออก โดยปลายท่อเข้าจะจุ่มอยู่ใต้ระดับสารละลายซิงค์อะซิเตด ประมาณ 10 ซม. ในส่วนของปลายท่อออกจะอยู่เหนือระดับสารละลายก๊าซที่ออกจากถังปฏิกรณ์เมื่อผ่านสารละลายจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างซัลไฟด์กับซิงค์ไอออนอย่างรวดเร็วได้ตะกอนสีขาวขุ่นของซิงค์ซัลไฟด์ ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เหลือจะออกจากขวดผ่านทางท่อออกและสายยางนำก๊าซไปเก็บไว้ที่ชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ สำหรับรายละเอียดของชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แสดงในรูปที่ 3.4



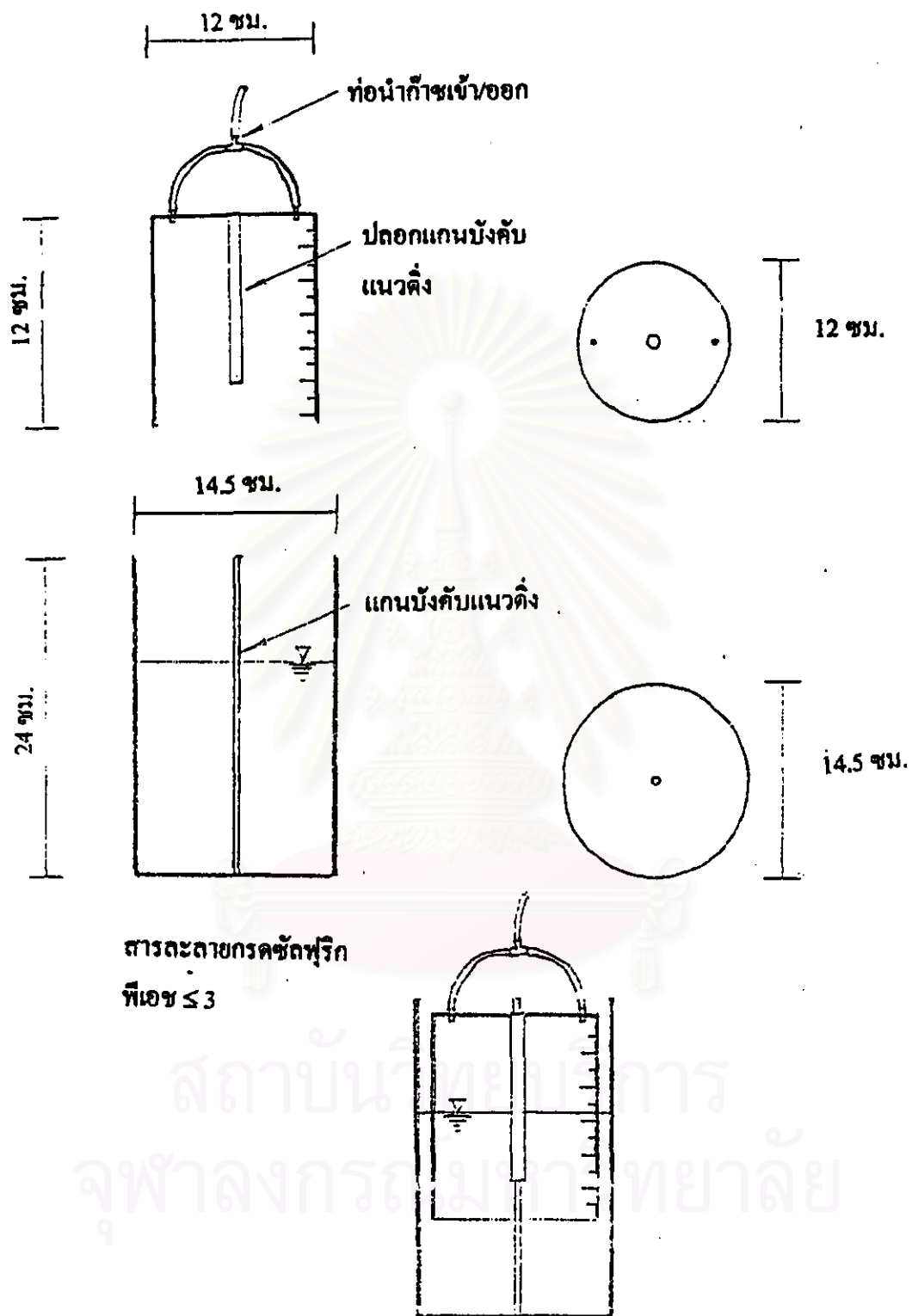
ก๊าซชีวภาพ  $CH_4$ ,  $CO_2$  และ  $H_2S$ จากระบบ



รูปที่ 3.4 ลักษณะและรายละเอียดของชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

### 3.3.6 ชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ

ชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ อาศัยหลักการแทนที่น้ำของก๊าซที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ความดันของก๊าซในการเอาชนะการสูญเสียความดันเพื่อผ่านเข้าสู่ภาชนะเก็บก๊าซน้อยที่สุด และใช้น้ำเป็นตัวดักไม่ให้ก๊าซหนีออกไป ภาชนะเก็บก๊าซทำจากโพลีเอทิลีนหรือพลาสติกใสทรงกระบอก โดย 1 ชุด จะต้องใช้โพลีเอทิลีน 2 ใบ ที่มีขนาดไม่เท่ากัน ใบเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม., สูง 12 ซม. ใบใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.5 ซม., สูง 24 ซม. โดยโพลีเอทิลีนใบเล็กจะคว่ำลงในโพลีเอทิลีนใบใหญ่ และมีแกนสำหรับควบคุมให้การเลื่อนระดับขึ้นลงของโพลีเอทิลีนใบเล็กอยู่ในแนวตั้ง ทำการ calibrate ปริมาตรของโพลีเอทิลีนใบเล็กและทำสัญลักษณ์ปริมาตรภาชนะที่ระดับต่างๆ สำหรับวัดค่าปริมาตรก๊าซ โดยก่อนนำก๊าซจะติดอยู่ที่ก้นของโพลีเอทิลีนใบเล็กซึ่งคว่ำอยู่ในโพลีเอทิลีนใบใหญ่ ภายในโพลีเอทิลีนใบใหญ่จะใส่น้ำและกรดซัลฟูริก เพื่อรักษาระดับค่าพีเอชให้ต่ำกว่า 3 อยู่เสมอ เพื่อไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นละลายลงในน้ำที่ใสไว้ในภาชนะโพลีเอทิลีนใบใหญ่ ปริมาตรของน้ำที่ใสในโพลีเอทิลีนใบใหญ่ต้องมีระดับสูงพอให้มีการแทนที่ช่องว่างภายในโพลีเอทิลีนใบเล็กทั้งหมดด้วยน้ำเมื่อคว่ำโพลีเอทิลีนใบเล็กลงจนสุดถึงก้นโพลีเอทิลีนใบใหญ่ รายละเอียดของชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ แสดงในรูปที่ 3.5



### 3.3.7 อุปกรณ์การวัดปริมาตร ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีที่ใช้ในการวัดปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน จะใช้หลักการเดียวกับวิธีของเครื่องออร์ແທท คือการวัดปริมาตรก๊าซก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับสารละลายด่างแก่ แต่จะได้ทำการประยุกต์ชุดอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการทำงานในห้องปฏิบัติการได้สะดวกขึ้น โดยมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

#### 1) ชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ

ชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ ที่ประยุกต์ขึ้นในงานวิจัยนี้ มีจุดเด่นที่สำคัญคือ สามารถสร้างความดันให้กับก๊าซได้สูงสุด เทียบเท่าความลึกน้ำ 12 ซม. เพื่อนำไปใช้สำหรับการดัก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากปริมาตรก๊าซรวม เมื่อผ่านก๊าซทั้งหมดในสารละลายด่างที่บรรจุในขวดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งต้องสูญเสียความดันก๊าซเทียบเท่าความลึกน้ำ 10 ซม. โดยมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.5

#### 2) ขวดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ขวดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มล. บรรจุสารละลายด่างโซดาไฟ (NaOH) ที่มีค่า  $\text{pH} \geq 12$  ปริมาณ 500 มล. พร้อมจุกยางอุด และท่อแก้วนำก๊าซเข้าและออก เพื่อบังคับให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซมีเทน ผ่านลงไปในสารละลายด่าง โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับด่างเกิดเป็นไอออน  $\text{CO}_3^{2-}$  และก๊าซมีเทนจะหนีออกจากสารละลายด่างผ่านท่อนำก๊าซออกไปเก็บไว้ในชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ โดยลักษณะของขวดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีลักษณะเช่นเดียวกับชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.4

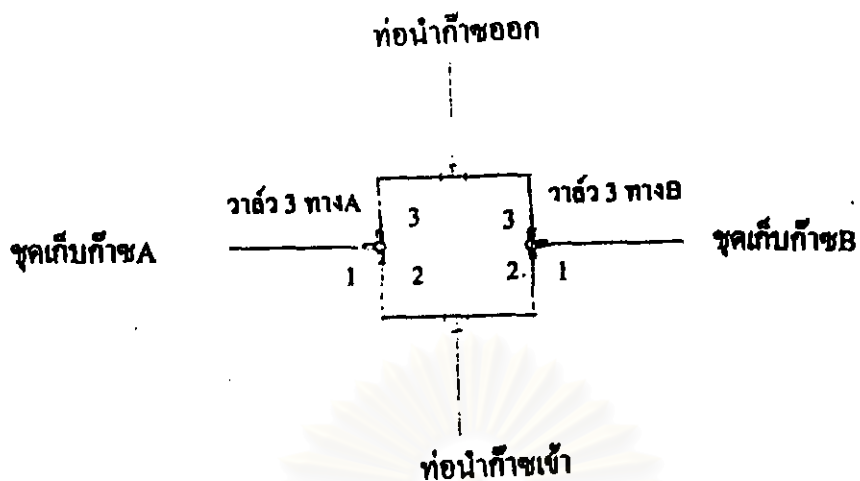
#### 3) ชุดเครื่องกวนแม่เหล็ก

ชุดเครื่องกวนแม่เหล็กที่นำมาใช้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความปั่นป่วนในขวดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างสารละลายด่างกับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้สูงขึ้น โดยจะใช้ขนาดที่สามารถวางขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล.ได้พอเหมาะและปรับความเร็วรอบของแท่งแม่เหล็กให้ได้ความปั่นป่วนตามต้องการ

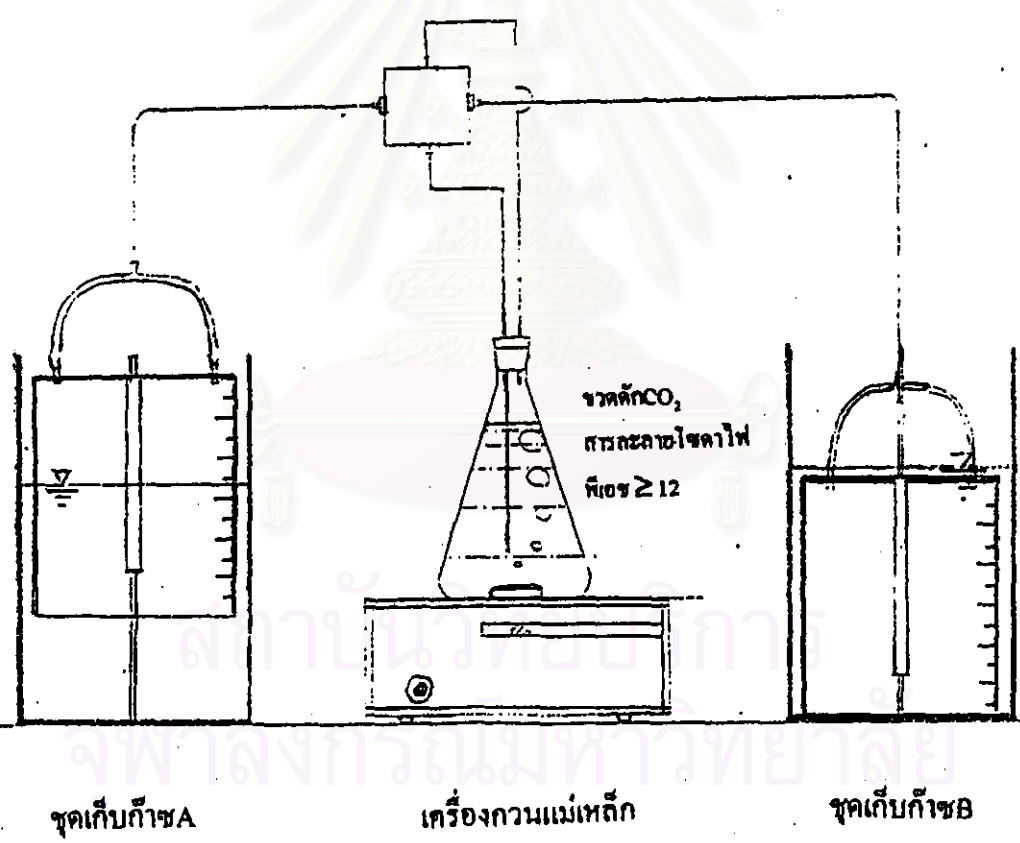
#### 4) ระบบท่อและวาล์วกำหนดทิศทางไหลก๊าซ

ระบบท่อและวาล์วกำหนดทิศทางไหลก๊าซ มีวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานเนื่องจากการผ่านก๊าซผสมของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซมีเทน ในชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ ลงในชุดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อดัก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกนั้นอาจต้องให้มีการผ่านประมาณ 3-4 รอบ จนปริมาณก๊าซคงที่โดยใช้สายยางขนาด 1/8" และวาล์ว 3 ทาง ขนาดเล็กซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ มาประยุกต์ใช้ โดยลักษณะและการทำงานของระบบท่อและวาล์วกำหนดทิศทางไหลก๊าซ รวมทั้งการประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดดังกล่าวเข้าด้วยกันในการใช้งานจริงแสดงไว้ในรูปที่ 3.6 และวิธีการใช้อุปกรณ์ทั้งหมดในการวัดปริมาตร ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ มีขั้นตอนดังนี้ คือ

1. นำอุปกรณ์ชุดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ชุดเก็บก๊าซ B เครื่องกวนแม่เหล็กและระบบท่อและวาล์ว 3 ทางมาเตรียมไว้โดยชุดเก็บก๊าซ B จะต้องไม่มีช่องว่างของอากาศในโหลพลาสติกใบเล็ก
2. นำชุดเก็บก๊าซที่ได้จากการเดินระบบครบรอบ 1 วันซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซมีเทน เก็บอยู่ โดยโหลพลาสติกใบเล็กจะลอยขึ้นมา เนื่องจากก๊าซที่ถูกเก็บไว้ และจะเรียกชุดเก็บก๊าซชุดนี้ว่าชุด A
3. นำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์ที่เตรียมไว้จากข้อ 1 โดยติดตั้งตามรูปที่ 3.9
4. บันทึกปริมาตรของก๊าซในชุดเก็บก๊าซ A และอุณหภูมิของสารละลายกรดในชุดเก็บก๊าซ A
5. เปิดเครื่องกวนแม่เหล็กและตั้งระบบวาล์วให้สามารถผ่านก๊าซจากชุดเก็บก๊าซ A ลงไปในสารละลายต่างในชุดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกไปเก็บในชุดเก็บก๊าซ B โดยปิดแกนหมุนของวาล์ว 3 ทาง A ให้เปิดด้าน 1 และ 2 โดยปิดด้าน 3 ขณะที่วาล์ว 3 ทาง B เปิดด้าน 1 และ 3 โดยปิดด้าน 2
6. ออกแรงกดโหลพลาสติกใบเล็กในชุดเก็บก๊าซ A ให้จมลงในสารละลายกรดที่บรรจุภายในโหลใบใหญ่ เพื่อให้ก๊าซในชุดเก็บก๊าซ A มีความดันเพียงพอ(จากระดับของเหลวที่สูงขึ้น) ในการเอาชนะความดันในชุด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จนก๊าซในชุดเก็บก๊าซ A ผ่านชุดดัก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไปเก็บในชุดเก็บก๊าซ B จนหมด
7. ปรับระบบวาล์วให้สามารถผ่านก๊าซจากชุดเก็บก๊าซ B ลงไปในสารละลายต่างในชุดดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กลับไปเก็บในชุดเก็บก๊าซ A โดยให้ปิดแกนหมุนของวาล์ว 3 ทาง B ให้เปิดด้าน 1 และ 2 โดยปิดด้าน 3 ขณะที่วาล์ว 3 ทาง A เปิดด้าน 1 และ 3 โดยปิดด้าน 2 และออกแรงกดชุดเก็บก๊าซ B เช่นเดียวกับที่กดชุดเก็บก๊าซ A ในข้อ 6
8. ทำข้อ 6 และข้อ 7 ซ้ำกันจนค่าปริมาตรก๊าซที่อ่านได้ไม่เปลี่ยนแปลง (ประมาณ 4 รอบ) บันทึกค่าปริมาตรก๊าซที่เหลือและวัดอุณหภูมิในสารละลายกรดในชุดเก็บก๊าซที่มีอยู่
9. ปริมาตรก๊าซที่เหลือที่อ่านได้ในข้อ 8 คือปริมาตรของก๊าซมีเทน ขณะที่ปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือผลต่างระหว่างปริมาตรในข้อ 4 หักออกจากค่าปริมาตร ในข้อ 8



ระบบท่อและวาล์วกำหนดทิศทางการไหลของก๊าซ



รูปที่ 3. 6 ลักษณะและการทำงานของระบบท่อและวาล์วกำหนดทิศทางไหลของก๊าซ รวมทั้งการประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดดังกล่าวเข้าด้วยกันในการใช้งาน

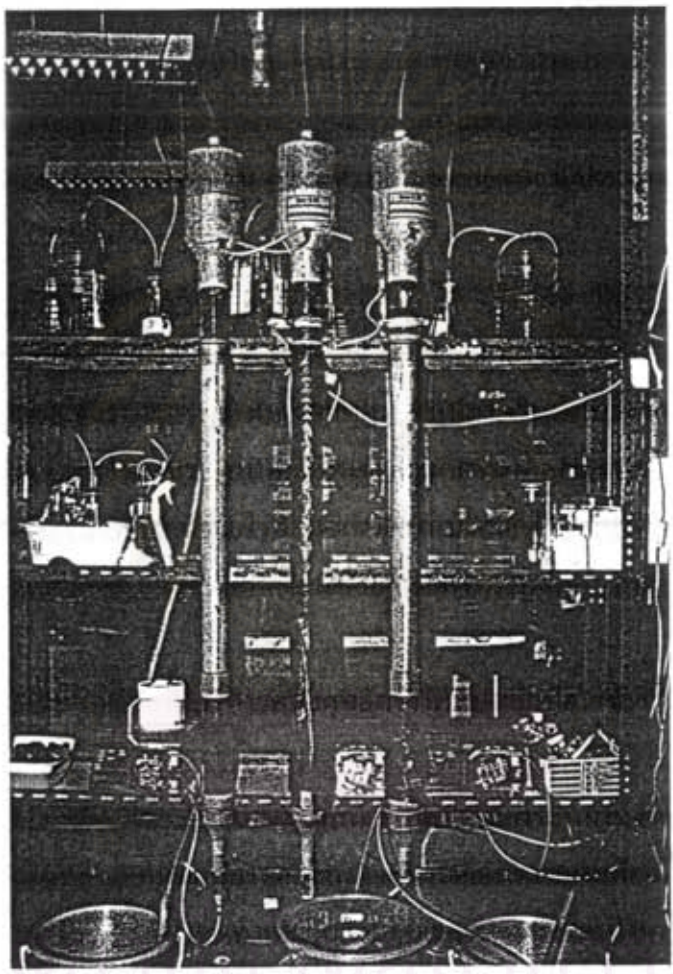


### 3.4 การเดินระบบและการควบคุมระบบ

#### 3.4.1 การเดินระบบ

ระบบยูเอเอสพีที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นระบบแบบไม่มีถังสร้างกรด และ ดังพักน้ำสูง ดังนั้นน้ำเสียป้อนเข้าระบบจะเป็นการสูบป้อนเข้าที่ทางน้ำเข้าที่ส่วนล่างดังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีโดยตรง น้ำเสียจะไหลขึ้น(upflow)ผ่านชั้นของแบคทีเรีย ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย น้ำเสียที่ถูกย่อยสลายและก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะไหลขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ผ่านส่วนแยกก๊าซของอุปกรณ์แยกตามสถานะ ก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวมผ่านท่อรวบรวมก๊าซและออกไปทางท่อน้ำก๊าซเข้าสู่ชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และชุดวัดปริมาณก๊าซมีเทนและ คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนน้ำจะไหลเข้าสู่ส่วนตกตะกอนของอุปกรณ์แยกตามสถานะ แยกตะกอนแขวนลอยซึ่งเป็นเซลล์แบคทีเรียให้ตกกลับไปในระบบ น้ำใสจะไหลออกไปทางท่อน้ำทิ้งที่อยู่ติดกับส่วนตกตะกอนนี้และไหลทิ้งออกจากระบบ

การป้อนน้ำเสียด้วยการสูบป้อนเข้าที่ส่วนล่างดังปฏิกรณ์โดยตรงมีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการสูบน้ำอากาศป้อนเข้าสู่ระบบได้ ถ้าน้ำเสียในถังพักน้ำเสียหมด ซึ่งจะเป็นการป้อนออกซิเจนเข้าสู่ระบบ และเกิดผลเสียต่อการทำงานของแบคทีเรียไร้ออกซิเจนได้ นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงต่อการที่สายยางที่ต่อเข้ากับทางน้ำเข้าที่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์หลุดออก ซึ่งจะทำให้แบคทีเรียภายในถังปฏิกรณ์รั่วออกมาภายนอกถึงเป็นความเสียหายที่รุนแรงต่อการทดลอง อย่างไรก็ตามที่ต้องเลือกรูปแบบป้อนโดยตรง เนื่องจากปัญหาการอุดตันในสายยางจากถังพักน้ำสูง เข้าสู่ทางน้ำเข้าที่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ทำให้เกิดน้ำตันออกจากถังพักน้ำสูง ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดความเอะอะเหอะแล้ว ยังทำให้ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบน้อยกว่าที่กำหนดไว้ตามแผนทดลอง ดังนั้นเมื่อเลือกที่ต้องป้อนระบบน้ำเสียเข้าระบบโดยตรง จะใช้วิธีใต้อุณหภูมิ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. ประมาณ 10 ลูกต่อถังปฏิกรณ์ เพื่อป้องกันปัญหาการรั่วออกของแบคทีเรีย ถ้าเกิดปัญหาสายยางหลุด และในส่วนของการสูบน้ำอากาศเข้าระบบซึ่งไม่สามารถหาเทคนิคในทางแก้ไขที่เหมาะสมได้จึงต้องป้องกันด้วยการประเมินเวลาที่น้ำเสียจะหมดถึงในแต่ละวัน และคอยเฝ้าไม่ให้เครื่องสูบ สูบน้ำเสียจนแห้งถึง นั่นคือมีการเตรียมน้ำใหม่ได้ทันเวลาสำหรับการป้อนเข้าระบบในทุกๆวัน งานที่ต้องทำในการเดินระบบแต่ละวัน คือการเตรียมน้ำเสียเพื่อป้อนเข้าระบบ, การล้างทำความสะอาดถังพักน้ำเสีย, การตรวจสอบอัตราไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ, การตรวจสอบสายยางซิลิโคนที่ใช้ว่ามีสิ่งสกปรกอุดตันหรือไม่ ซึ่งต้องทำความสะอาด และตรวจสอบถึงสภาพความเสื่อมที่อาจเกิดขึ้นกับสายยางซึ่งต้องเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอ การเก็บตัวอย่างน้ำและก๊าซเพื่อการวิเคราะห์พารามิเตอร์ และการเตรียมสารละลายซิงค์อะซิเตด สำหรับดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยรูปที่3.7 แสดงการติดตั้งจริงของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ชุด และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ทดลอง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3. 7 การติดตั้งอุปกรณ์ทั้ง 3 ชุด และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ทดลองจริง

### 3.4.2 ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น ( Seed )

ใช้เชื้อแบคทีเรียจากงานวิจัยของ โสภา ชินเวชกิจวานิชย์(2540) และเชื้อแบคทีเรียที่นำมาจาก บริษัท แชน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด โดยเชื้อที่นำมาจาก บริษัท แชน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด เป็นเชื้อที่มีการป้อนซัลเฟดให้มีความคุ้นเคยกับค่าความเข้มข้นซัลเฟดสูงกว่าปกติมาบ้าง เชื้อจากทั้ง 2 แหล่งเป็นเชื้อแบคทีเรียไร้อากาศที่มีลักษณะการจับตัวเป็นเม็ดอยู่แฉ่ำ ( Granular Sludge ) โดยเชื้อส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-3 มม. ในการเติมเชื้อเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แต่ละชุดจะนำเชื้อจากทั้ง 2 แหล่ง ผสมให้เข้ากันก่อน หลังจากนั้นจึงแบ่งใส่ลงในถังปฏิกรณ์โดยเติมถึงระดับ 700 มล. เท่ากันทุกถัง ได้รับความสูงชั้นตะกอน(Sludge Bed) ประมาณ 50 ซม.

### 3.4.3 การควบคุมระบบ

ในการควบคุมระบบสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ก็คือ การควบคุมระบบให้มีเงื่อนไขตรงตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตการทดลอง และการควบคุมระบบให้มีภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียไร้ออกซิเจน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือการควบคุมอัตราไหลน้ำเสียป้อนเข้าระบบ , การควบคุมลักษณะน้ำเสีย และการควบคุมสภาพแวดล้อมทางกายภาพเช่น แสง และอุณหภูมิ

#### 3.4.3.1 การควบคุมอัตราไหลน้ำเสียป้อนเข้าระบบ

อัตราไหลน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบในงานวิจัยนี้ กำหนดไว้ที่ 8 ลิตร/วัน หรือ 5.56 มล. ต่อนาที เท่ากันทุกๆการทดลอง เมื่อเริ่มเดินระบบจะต้องทำการวัดอัตราสูบของเครื่องสูบให้ได้ตามที่กำหนด โดยในเบื้องต้นทำการวัดและจับเวลาในระดับนาที่ หลังจากนั้นควรทำการวัดและจับเวลาในช่วงเวลาระดับวัน ซึ่งจะทำได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น เพราะในบางครั้งค่าที่วัดในระดับนาที่อาจมีความผิดพลาดอย่างมากเมื่อนำมาใช้จริง ในช่วงเวลา 1 วัน นอกจากนั้นการหมั่นสังเกตปริมาณน้ำในถังพักน้ำเสียป้อนเข้าระบบทั้งหมดในแต่ละวัน เป็นการสังเกตอย่างง่ายที่มีประโยชน์ต่อการประเมินอัตราสูบของเครื่องสูบน้ำเสีย ซึ่งโดยส่วนใหญ่อัตราสูบของเครื่องสูบจะลดลงเพราะเกิดเมือกสารอินทรีย์หรือแบคทีเรียเกาะติดด้านในของสายยางซิลิโคนที่ใช้ ซึ่งจะต้องหมั่นทำความสะอาดอยู่เสมอ เช่น วันเว้นวัน เป็นต้น

### 3.4.3.2 การควบคุมลักษณะน้ำเสีย

เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียตั้งเคราะห์ซึ่งทำให้การเตรียมน้ำเสียตามสูตรซึ่งใช้ในแต่ละการทดลองเป็นการควบคุมลักษณะน้ำเสียไปแล้วในตัว ดังนั้นการควบคุมในส่วนลักษณะน้ำเสียนี้ก็คือป้องกันอย่าให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย และพยายามเลือกใช้ชนิดสารเคมีให้คงที่ เช่น การเลือกใช้ยี่ห้อของน้ำด่างทราซ ให้เป็นยี่ห้อเดียวกันหรือเป็นลักษณะของน้ำด่างทราซขาวหรือแดง ให้เหมือนกันจนจบงานวิจัย

### 3.4.3.3 การควบคุมสภาพแวดล้อมทางกายภาพ

สภาพแวดล้อมที่ต้องให้ความสำคัญคือ แสงสว่างและอุณหภูมิ การยอมให้แสงสว่างผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์จะทำให้เกิดตะไคร่น้ำขึ้นบริเวณผนังด้านในของถังปฏิกรณ์ได้ ซึ่งจะมีผลเสียและรบกวนการทำงานของแบคทีเรียไร้ออกซิเจน โดยตะไคร่น้ำจะตั้งเคราะห์แสงและผลิตออกซิเจนออกมาภายในถังปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงต้องป้องกันไม่ให้แสงสว่างส่องผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ได้ โดยการใช้ถุงพลาสติกดำคลุมถังปฏิกรณ์ด้านนอกบริเวณที่ทำจากท่ออะคริลิกใสโดยรอบ อย่างไรก็ตามควรคลุมถุงพลาสติกดำในลักษณะที่สามารถแกะหรือเปิดออกได้ง่าย เพื่อให้การตรวจลักษณะแบคทีเรียทำได้โดยง่าย

สำหรับการควบคุมอุณหภูมิ จะทำเฉพาะเมื่อสภาพอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพปกติโดยเฉพาะในฤดูหนาว โดยการทำงานของแบคทีเรียไร้อากาศประเภท mesophilic จะถูกกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้แบคทีเรียอย่างง่ายด้วยการใช้ไฟสปอร์คไลท์ขนาด 500 วัตต์ ส่องกระทบถังปฏิกรณ์ โดยได้ผลในระดับที่น่าพอใจ

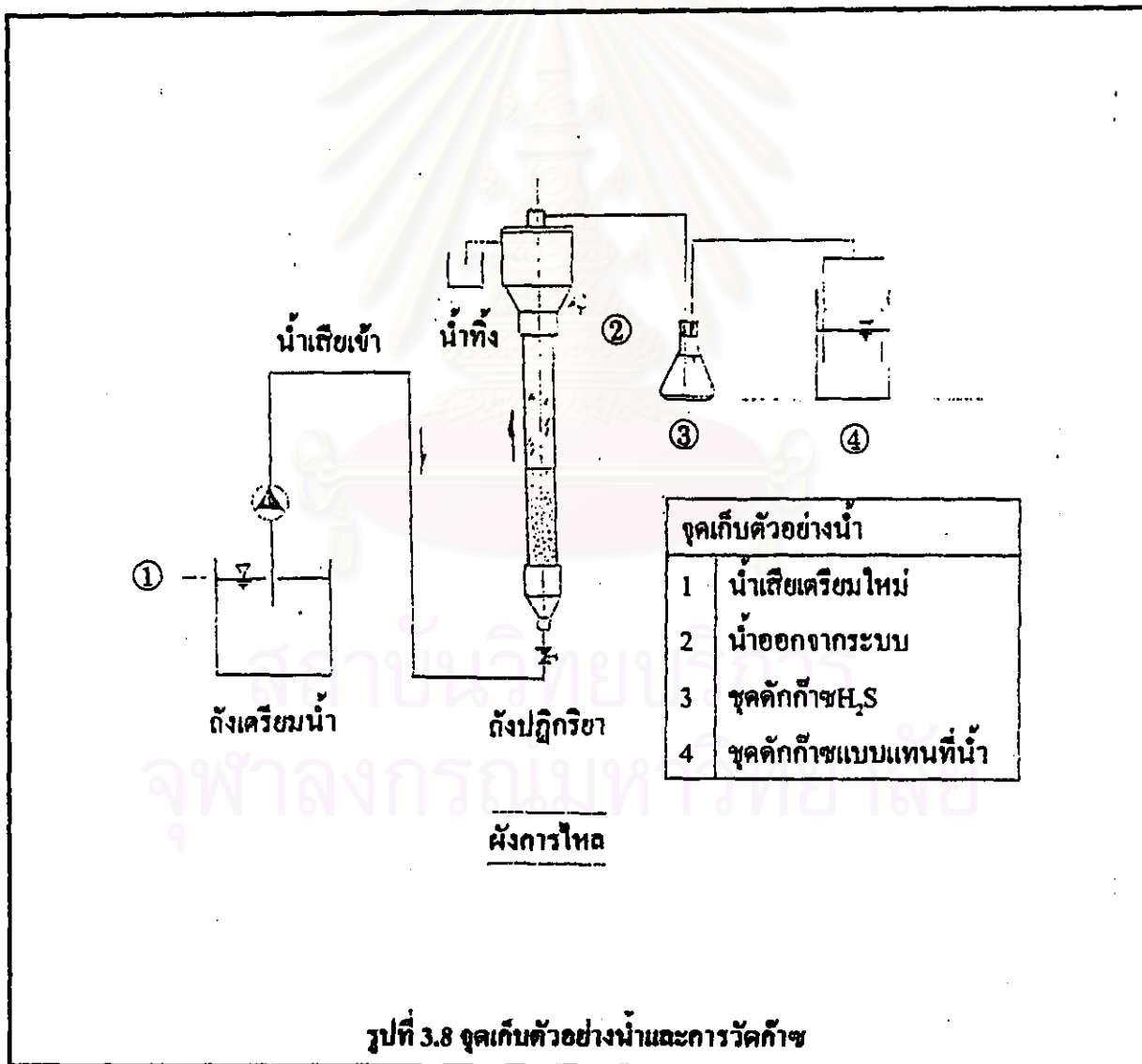
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ และก๊าซ

#### 3.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและก๊าซ

จุดเก็บตัวอย่างน้ำและการวัดก๊าซมี 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 คือ

- น้ำเสียที่เตรียมขึ้นใหม่ในแต่ละวัน
- น้ำออกจากถังยูเอสบี
- ชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกดัก โดยอยู่ในรูปของตะกอนซิงค์ซัลไฟด์
- ชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ สำหรับการวัดปริมาณก๊าซรวมของก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



### 3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั้งในส่วนของน้ำเข้าและน้ำออกจะวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำตัวอย่างดังต่อไปนี้ คือ สี, อุณหภูมิ, ไออาร์พี, สภาพการนำไฟฟ้า, ของแข็งละลายทั้งหมด, สภาพความเป็นด่างทั้งหมด, กรดไขมันระเหย, ซีไอดีรวมซึ่งไล่ซัลไฟด์ออกแล้ว, ซีไอดีละลายซึ่งไล่ซัลไฟด์ออกแล้ว, ปริมาณซัลเฟต และ ปริมาณซัลไฟด์รวมในน้ำ โดยวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือ Standard Methods

### 3.5.3 การวัดและวิเคราะห์ก๊าซ

การวัดข้อมูลก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะวัดข้อมูลต่อไปนี้คือ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปริมาตรก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยวิธีวิเคราะห์ตะกอนซิงค์ซัลไฟด์ที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกดัก ใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือ Standard Methods ขณะที่การวัดสัดส่วนปริมาตรของก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะใช้วิธีและอุปกรณ์ซึ่งประยุกต์ขึ้นใหม่(แสดงในหัวข้อ 3.3.7) โดยอาศัยหลักการของเครื่องออร์สเตท

สำหรับแผนการเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ รวมทั้งวิธี/เครื่องมือวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แผนการเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ รวมทั้งวิธี/เครื่องมือวิเคราะห์

ตัวแปรตาม	จุดเก็บตัวอย่าง				ความถี่ การ วิเคราะห์	วิธี/เครื่องมือวิเคราะห์
	น้ำ เอือ	น้ำออก	ชุดคัก M,S	ชุดคักก๊าซแบบ แทนที่น้ำ		
พีเอช และอุณหภูมิ	/	/	-	-	ทุกวัน	เครื่องวัดพีเอช HORIBA รุ่น F-13
ไออาร์ที	-	/	-	-	ทุกวัน	เครื่องวัดไออาร์ที Radiometer รุ่น PHM80
สภาพการนำไฟฟ้า	/	/	-	-	จ,ท,ศ	เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า SCHOTT Conductometer รุ่น CG 855
ของแข็งละลายทั้งหมด	/	/	-	-	จ,ท,ศ	Gravimetric Method (Total residue drying at 103°C)
สภาพความเป็นค่าทั้ง หมด	/	/	-	-	จ,ท,ศ	Potentiometric Method
กรดไขมันระเหย	/	/	-	-	จ,ท,ศ	วิธีไทเทรตแบบลด
ซีไอดี	/	/	-	-	จ,ท,ศ	Closed Reflux
ปริมาณซัลเฟต	/	/	-	-	จ,ท,ศ	Turbidimetric Method
ปริมาณซัลไฟด์รวม	-	/	-	-	จ,ท,ศ	Iodometric Method
ปริมาณก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์	-	-	/	-	จ,ท,ศ	ชุดคักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และวิธี Iodometric Method
ปริมาณกรดไขมันมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์	-	-	-	/	จ,ท,ศ	ชุดคักก๊าซแบบแทนที่น้ำ และ การประยุกต์หลักการของเครื่อง ออร์แกท

### 3.6 เทคนิคเฉพาะในการวิเคราะห์พารามิเตอร์บางชนิด

#### 3.6.1 การวิเคราะห์ซีโอดี ไลซ์ัลไฟด์

หลักการในการวิเคราะห์ซีโอดี คือการใช้สารออกซิไดซ์อย่างแรงในการออกซิไดซ์ สารอินทรีย์ หรือสารรีดิวซ์ต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์ เช่น เหล็กเฟอร์รัส แอมโมเนีย หรือ ซัลไฟด์ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ น้ำออกจากระบบจะมีซัลไฟด์เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ดังนั้นเพื่อให้ผลวิเคราะห์ซีโอดีในน้ำออกเป็นค่าซีโอดีเฉพาะของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายไม่หมด จึงต้องทำการไลซ์ัลไฟด์ละลายน้ำออกจากตัวอย่างน้ำ ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งทำให้ค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบที่ได้ สามารถนำไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพการลดซีโอดีในส่วนของสารอินทรีย์ได้ และทำให้การวิเคราะห์ผลเกี่ยวกับการคำนวณสมมูลมวลของซีโอดีในระบบได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

หลักการไลซ์ัลไฟด์ละลายน้ำออกจากตัวอย่างน้ำ คือ การปรับพีเอชของตัวอย่างน้ำให้มีค่าต่ำเพื่อให้ซัลไฟด์ละลายน้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูปซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว ( $H_2S_{(aq)}$ ) และเมื่อเกิดแรงปั่นป่วนเนื่องจากแรงเขย่าจะทำให้ ซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัวหนีออกจากวัฏภาคน้ำไปในรูปของ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์  $H_2S_{(g)}$

วิธีการไลซ์ัลไฟด์ละลายน้ำออกจากตัวอย่างน้ำ ทำได้โดยการชั่งตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวิเคราะห์ในปริมาตร 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. นำมาเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 หยด และนำไปเขย่าโดยใช้เครื่อง Shaker ที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที สำหรับการตรวจสอบอย่างง่าย สามารถทำได้โดยการคมก้นของตัวอย่างน้ำ ถ้ามีก้นก้นนอกเปรี๊ยะ และ ไม่มีก้นก้นของก๊าซไข่เน่า แสดงว่าซัลไฟด์ละลายน้ำในตัวอย่างน้ำได้ถูกไล่ออกไปแล้วทั้งหมด แต่ถ้ายังมีก้นก้นของก๊าซไข่เน่า จะต้องเพิ่มเวลาในการเขย่าจนไม่ได้ก้นก้นก๊าซไข่เน่าแล้ว จึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าซีโอดีตามปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### 3.6.2 วิธีการวัดค่าสภาพต่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย

1. ตีตัวอย่างน้ำปริมาตร 50 มล.ใส่บีกเกอร์ วางบีกเกอร์บนเครื่องกวนแม่เหล็ก จุ่มอิเล็กโทรดของเครื่องวัดพีเอชลงในบีกเกอร์
2. วัดและบันทึกค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำเริ่มต้น และอ่านค่าปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกมาตรฐานจากบิวเรต
3. เติมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกมาตรฐานจากบิวเรตลงอย่างรวดเร็ว จนใกล้จุดยุติให้เติมทีละน้อยๆ รอจนแน่ใจว่าค่าพีเอชถึงจุดสมมูลก่อนจึงค่อยเติมต่อไปจนถึงจุดยุติ โดยจุดยุติที่ใช้ในการวัดที่ใช้คือ ค่าพีเอช 5.75 และ 4.3
4. จดปริมาตรกรดที่ใช้โคเดรทตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงค่าพีเอช 4.3 นำไปใช้สำหรับคำนวณค่าสภาพต่างทั้งหมด โดย

$$\text{ค่าสภาพต่างทั้งหมด(มก./ล.asCaCO}_3\text{)} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A = มล. ของสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงค่าพีเอช 4.3

N = นอร์มัลลิตีของสารละลายกรดมาตรฐาน

5. จดปริมาตรกรดที่ใช้โคเดรทตั้งแต่ค่าพีเอช 5.75 จนถึงค่าพีเอช 4.3 นำไปใช้สำหรับคำนวณค่ากรดไขมันระเหย โดย

$$\text{ค่ากรดไขมันระเหย(มก./ล.asCaCO}_3\text{)} = \frac{B \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง}}$$

เมื่อ B = มล. ของสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ตั้งแต่ค่าพีเอช 5.75 จนถึงค่าพีเอช 4.3

N = นอร์มัลลิตีของสารละลายกรดมาตรฐาน

### 3.6.3 การวัดซัลไฟด์ละลายน้ำโดยตรง

ในกรณีของการวัดซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำจากงานวิจัยในห้องปฏิบัติการที่สามารถเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือได้พร้อม โดยเฉพาะสามารถนำตัวอย่างมาทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนที่เตรียมและทราบปริมาณไว้แล้วได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายซิงค์อะซิเตต (ZnAc) 2 N. มา fix ให้เกิดตะกอนผลึกซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลาได้มาก เนื่องจากการลดขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้งในส่วนของการรอให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนผลึกซิงค์ซัลไฟด์ และลารนำตะกอนที่ได้ไปกรอง นอกจากนั้น ก็เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของการระบายกรองลงไปได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เติมสารละลายไอโอดีน( $I_2$ )เข้มข้น 0.025 N. ที่คำนวณปริมาณให้มีมากกว่าปริมาณที่จะทำปฏิกิริยากับ ปริมาณซัลไฟด์ละลายน้ำที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำเล็กน้อยลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.
2. เติมกรดไฮโดรคลอริก(HCl) 2 N. ปริมาตร 2 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ดังกล่าว
3. เติมน้ำกลั่นที่มีปริมาตรเมื่อรวมกับปริมาตรน้ำตัวอย่างแล้วเท่ากับ 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ดังกล่าว
4. ชักตัวอย่างจากถังปฏิกรณ์ ด้วย volumetric flask ขนาด 25, 50 หรือ 100 มล. โดยปลายสายยางของท่อ ชักตัวอย่างควรอยู่ใต้ระดับน้ำภายใน volumetric flask ที่ใช้เพื่อลดความปั่นป่วน ซึ่งเป็นการลดโอกาส การหนีของซัลไฟด์ละลายน้ำออกจากวัฏภาคน้ำไปในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
5. รินน้ำตัวอย่างใน volumetric flask เติมลงในขวดรูปชมพู่ที่เตรียมสารไอโอดีนไว้แล้ว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างซัลไฟด์ และไอโอดีน ทำให้สีของไอโอดีนตกลง หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปโคเรทด้วย สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3$ ) 0.025N. ด้วยวิธีการตามปกติ

### 3.6.4 การวัดซัลเฟต

วิธีในการวัดซัลเฟตของงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวัดความขุ่นของคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจากการเกิด ตะกอนผลึกของแบเรียมซัลเฟต( $BaSO_4(s)$ ) โดยการเติมผงแบเรียมคลอไรด์( $BaCl_2$ ) ลงในตัวอย่างที่เติมสารละลายบัพเฟอร์แล้ว อย่างไรก็ตามในบางกรณีจะเกิดปัญหาความขุ่นรบกวน โดยเมื่อเติมสารละลายบัพเฟอร์ลงในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองแล้วซึ่งเป็นขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามปกติ พบว่าสารละลายตัวอย่างเกิดความขุ่นโดยสาเหตุไม่ได้ จึงต้องนำตัวอย่างดังกล่าวไปกรองซ้ำอีก 1 รอบ ก่อนนำมาวัดค่าความขุ่นก่อนและหลังการเติมผงแบเรียมคลอไรด์( $BaCl_2$ ) ตามขั้นตอนปกติ ดังนั้น จึงทำการปรับขั้นตอน โดยทำการเติมสารละลายบัพเฟอร์ลงในตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการกรอง หลังจากนั้นจึงค่อยนำไปกรอง ซึ่งก็สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนั้นคือ การวัดความขุ่นของตัวอย่างที่มีความขุ่นในช่วงต่างกันด้วย เครื่องวัดความขุ่น จะต้องเลือกใช้ช่วง scale ของเครื่องวัดความขุ่นที่เหมาะสม เช่น ตัวอย่างน้ำที่มีความขุ่น 5 NTU ต้องปรับเครื่องให้การอ่านค่าเต็ม scale เป็น 10 NTU โดยไม่ควรวัดตัวอย่างน้ำที่มีความขุ่นดังกล่าว ด้วยการปรับเครื่องที่มีการอ่านค่าเต็ม scale เป็น 100 NTU เป็นต้น รวมทั้งในส่วนของการเลือกใช้ สารละลายบัพเฟอร์ A หรือ B ให้เหมาะสมกับค่าความขุ่นของตัวอย่างที่จะวัด ซึ่งต้องกระทำอย่างเคร่งครัด ทั้งในการเตรียม standard curve และการวัดค่าตัวอย่างน้ำปกติ

### 3.6.5 แนวคิดการวัดปริมาณ ก๊าซมีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยกำหนดให้ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วยก๊าซ 3 ชนิด เท่านั้น คือ ก๊าซมีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์ , ไฮโดรเจนซัลไฟด์ การวัดและตรวจสอบปริมาณของก๊าซชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะนำมาใช้ในการคำนวณค่าความดันพาร์เซิลของก๊าซแต่ละชนิด นอกจากนั้นการวัดก๊าซมีเทน และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะนำมาใช้สำหรับการคำนวณสมดุลมวลของซีโอดีและซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบกลับถึงความถูกต้องในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละชุดการทดลองได้

อุปกรณ์การวัดก๊าซที่ใช้ในการทดลองออกแบบมาเพื่อให้สามารถวัดปริมาณของก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ , ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดขึ้นได้ภายในรอบ 1 วันการทดลอง หลักการในการแยกวัดปริมาณก๊าซแต่ละชนิด อาศัยลักษณะสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันของก๊าซแต่ละชนิด โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถเกิดการตะกอนผลึกซิงค์ซัลไฟด์กับไอออนซิงค์ ( $Zn^{2+}$ ) ในสารละลายซิงค์อะซิเตด แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่เกิดปฏิกิริยาหรือละลายในสารละลายซิงค์อะซิเตด เนื่องจากสารละลายมีค่าพีเอชต่ำ สำหรับการดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากส่วนผสมของก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ ทำได้โดยการผ่านส่วนผสมของก๊าซดังกล่าวลงในสารละลายด่างโซดาไฟ( $NaOH$ )ที่มีพีเอชสูง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับด่างเกิดเป็นไอออนคาร์บอเนต( $CO_3^{2-}$ ) ภายในสารละลายด่างนั้น ขณะที่ก๊าซมีเทนจะไม่เกิดปฏิกิริยากับทั้งสารละลายซิงค์อะซิเตดและสารละลายด่างโซดาไฟ ดังนั้นปริมาตรของก๊าซที่เหลือจะเป็นปริมาตรของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นและดักได้ใน 1 วันการทดลอง โดยความแตกต่างระหว่างการดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกกับการดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออก อีกแง่มุมหนึ่งก็คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกดักออกตลอดเวลาที่มิก๊าซผุดผ่านสารละลายซิงค์อะซิเตด ขณะที่สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกดักออกเมื่อรวบรวมส่วนผสมของก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ ได้ทั้งหมดแล้วในรอบ 1 วัน เหตุผลที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างรูปแบบการดัก ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออก เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์แยกสามสถานะ ของถังปฏิกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถสร้างความดันให้กับก๊าซที่เกิดขึ้นได้เพียง 15 ซม.น้ำเท่านั้น ขณะที่ชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้แต่ละชุด จะต้องสูญเสียความดันก๊าซชุดละ 10 ซม.น้ำ ดังนั้นจึงสามารถใช้ชุดดักได้เพียง 1 ชุดเท่านั้น อย่างไรก็ตามถ้าสามารถสร้างถังปฏิกรณ์ที่สร้างความดันให้กับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้สูงพอ ก็จะสามารถใช้ชุดดัก ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมกันได้ และจะสามารถได้ค่าสัดส่วนก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ , ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อนำมาคำนวณค่าความดันพาร์เซิลของก๊าซแต่ละชนิดได้ทันที โดยรูปที่3.9 แสดงการติดตั้งชุดดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำที่ใช้ในการทดลองจริง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.9 การติดตั้งขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนซัลไฟด์ และขั้วไฟฟ้าแบบแทนที่น้ำที่ใช้ในการทดลองจริง

### 3.6.6 การวัดปริมาณ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

1. ประเมินปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จะเกิดขึ้นในรอบ 1 วัน ของแต่ละการทดลอง
2. คำนวณปริมาณไอออนซิงค์ ( $Zn^{2+}$ ) ที่จะต้องมีเพื่อทำปฏิกิริยากับ ปริมาณซัลไฟด์ จากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ประเมินได้จากข้อ 1. พอดี
3. เตรียมสารละลายซิงค์อะซิเตดที่มีปริมาณ ไอออนซิงค์ มากกว่าที่คำนวณได้จากข้อ 2. เป็นจำนวน 5 เท่า โดยใช้สารละลายซิงค์อะซิเตด 2 N. จนได้ปริมาตรรวม 500 มล. เติลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล.
4. ก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในรอบ 1 วันการทดลอง จะถูกรวบรวมจากอุปกรณ์แยก 3 สถานะ ผ่านมาซึ่งท่อ นำก๊าซที่จุ่มอยู่ได้สารละลายซิงค์อะซิเตดในข้อ 3. อย่างต่อเนื่อง เมื่อก๊าซชีวภาพหลุดออกจากท่อ นำก๊าซ และผ่านสารละลายซิงค์อะซิเตด จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วระหว่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารละลายซิงค์อะซิเตด เกิดตะกอนผลึกขาวขุ่นของซิงค์ซัลไฟด์อยู่ตลอดเวลา นั่นคือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกดักอยู่ในรูปซิงค์ซัลไฟด์ซึ่งแขวนลอยอยู่ในสารละลายซิงค์อะซิเตดปริมาตร 500 มล. ขณะที่ก๊าซชีวภาพที่ผ่านออกจากสารละลายซิงค์อะซิเตด จะถือว่าเหลือเฉพาะก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะผ่าน ไปเก็บในชุดดักก๊าซแบบแทนที่น้ำ
5. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล. ที่มีตะกอนผลึกขาวขุ่นของซิงค์ซัลไฟด์แขวนลอยอยู่ในสารละลายซิงค์อะซิเตด. ตั้งบนเครื่องกวนแม่เหล็ก เพื่อให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวทั้งหมด
6. ทำการดึงตัวอย่างด้วยปิเปต ขณะที่ยังมีการกวนผสมอยู่ บันทึกปริมาตรตัวอย่างที่ดึงออกไปเพื่อใช้สำหรับคำนวณปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดที่ดักได้ จากการนำตัวอย่างปริมาตรดังกล่าว ไปวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ ด้วยวิธีปกติ โดยไม่จำเป็นต้องนำตะกอนผลึกขาวขุ่นของซิงค์ซัลไฟด์ ไปกรองผ่านกระดาษกรองอีก

ค่าซัลไฟด์ที่คำนวณได้จะเป็นค่าความเข้มข้นหน่วย มก./ล. แต่ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ดัก เท่ากับ 500 มล. ดังนั้นปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดที่ดักได้ จะเท่ากับ  $0.5 \times$  ความเข้มข้นซัลไฟด์ที่ได้ และมีหน่วย มก.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย