

## บทที่ 3

### แผนการทดลองและวิจัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

การทดลองติดตั้งระบบอุปกรณ์ต่างๆ และใช้น้ำเสียจริงจากถังพักน้ำเสียอาคารเรียน 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้อุณหภูมิห้อง (room temperature) ใช้ถังปฏิกรณ์อิมเมจเจอร์ จำนวน 4 ถัง ที่มีลักษณะเหมือนกัน โดยมีตัวแปรต่างๆ ดังนี้

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรต้นที่ศึกษาคือ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียต่างประเภท ได้แก่ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต (ตะกอนชนิด A) และเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทโปรตีน (เม็ดตะกอนชนิด B) ซึ่งลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด แสดงดังตารางที่ 3.1

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรอิสระที่มีค่าเปลี่ยนไป ได้แก่ ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3.5, 5, 7 และ 10 ม./ชม.

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรตามที่ทำการศึกษาวิเคราะห์ ได้แก่

1. ระยะเวลาการเริ่มต้นระบบถึงสภาวะคงที่
2. ซีโอดี (COD)
3. บีโอดี (BOD)
4. พีเอช โออาร์พี (pH, ORP)
5. กรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid )
6. สภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)
7. ของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS)
8. ความสามารถของเม็ดตะกอน (SMA, specific methanogenic activity)
9. การกระจายขนาดตะกอน
10. ปริมาตรก๊าซรวม (Total gas volume)

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรควบคุม ได้แก่ น้ำเสียจริงที่ใช้ทำการทดลอง จากอาคารเรียน 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เติมลงไปจนถึงปฏิกรณ์เริ่มต้น โดยเติมในปริมาณ 25 กก.วีเอสเอส/ม<sup>3</sup> ของถังปฏิกรณ์โดยประมาณ เวลาพักน้ำเสีย 2 ชม. และการเติมสาร trace element (แคลเซียมและโคบอลต์) โดยอัตราส่วนซีโอดีน้ำเข้าต่อแคลเซียมต่อโคบอลต์ที่เติมประมาณ 100: 0.3: 0.008 (ณรงค์ศักดิ์ ธิติธัญญานนท์, 2539)

ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาทำการวิจัยแสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนที่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า และจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Guiot et.al.,(1992) ,Fang et.al.,(1994) และ Batstone et.al.(2003) กล่าวถึงความแตกต่างของลักษณะเม็ดตะกอนระหว่าง เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทโปรตีนดังตารางที่ 3.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างทางด้านโครงสร้างและจุลชีพ ดังนั้นเมื่อนำมาเริ่มต้นระบบและเดินระบบในกระบวนการอิจีเอสบี จึงมีแนวโน้มว่าจะมีความแตกต่างกันในเชิงประสิทธิภาพของระบบอิจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของจุลินทรีย์

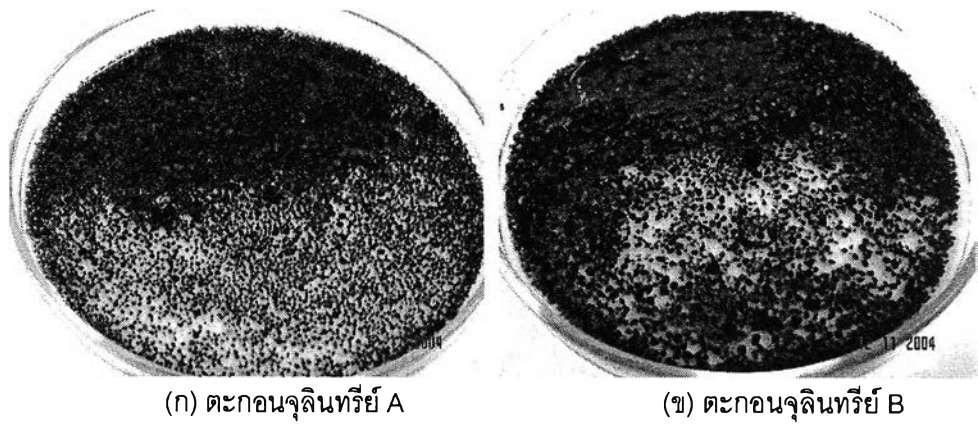
คุณลักษณะ	ตะกอนจุลินทรีย์ A	ตะกอนจุลินทรีย์ B
ประเภทน้ำเสียที่บำบัด	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน
ลักษณะภายนอก	เม็ดทรงกลม ขนาด 1-2 มม.	เม็ดทรงกลมป่นรี ขนาด 1-2 มม.

ตารางที่ 3.2 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียต่างชนิดกัน (Batstone et. al., 2003)

Property	Carbohydrate	Protein
Microbial density	Very high	Low
Layered structure (SEM)	Yes	No
Microbial diversity	4 main types	Many types
Acidogenic bacteria	Around edge	Clumped throughout
Syntrophic groups	In center	granule
<i>methanosarcina</i>	Outer	throughout granule
<i>methanosaeta</i>	In center	Some of edge
		Filamentous, throughout granule

การทดลองทั้งหมดแบ่งออกเป็น 2 ช่วง

ช่วงเริ่มต้นระบบ (Start up) เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและศึกษาพฤติกรรมของการเริ่มต้นระบบอิจีเอสบี แบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต (ตะกอนชนิด A) และเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทโปรตีน(ตะกอนชนิด B)



(ก) ตะกอนจุลินทรีย์ A

(ข) ตะกอนจุลินทรีย์ B

รูปที่ 3.1 ลักษณะของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาทำการวิจัย

การทดลองช่วงเริ่มระบบจะทำการเติมเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ลงในถังปฏิกรณ์ 4 ถัง ซึ่งแบ่งเป็นเมล็ดตะกอนชนิด A จำนวน 2 ถัง และเมล็ดตะกอนชนิด B จำนวน 2 ถัง ซึ่งปริมาณเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เติมลงในถังปฏิกรณ์ มีค่าประมาณ 25 กก.วีเอสเอส/ม<sup>3</sup>ของถังปฏิกรณ์ โดยประมาณ ทำการสูบน้ำเสียที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 2 กก.ซีโอดี/ม<sup>3</sup>.วัน เข้าถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง และเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจากน้อยไปมาก เพื่อให้เมล็ดตะกอนจุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เข้ากับความเร็วไหลขึ้นที่มีค่ามากได้ โดยแผนการทดลองในช่วงเริ่มต้นระบบ แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองช่วงเริ่มต้นระบบ

ชุดทดลองที่	ตะกอน จุลินทรีย์	เวลากักน้ำ (ชม.)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการสูบน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	อัตราการสูบน้ำเสียหมุนเวียน (ลิตร/วัน)
1	A	2	1	255	-
2	B	2	2	255	153
			3.5	255	459
3	A	2	1	255	-
			2	255	153
4	B	2	3.5	255	459
			7	255	1173

หมายเหตุ ชุดที่ 1 และ 2 ทำการทดลองช่วงความเร็วไหลขึ้นช่วงละ 20 วัน

ชุดที่ 3 และ 4 ทำการทดลองช่วงความเร็วไหลขึ้นช่วงละ 15 วัน

ช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว(Steady state)แบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาระสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของกระบวนการอจีเอสบีที่ความเร็วไหลชั้นต่างกัน คือช่วงที่1ความเร็วไหลชั้น 3.5 และ7 ม./ชม. และช่วงที่ 2 ความเร็วไหลชั้น 5 และ10 ม./ชม. เวลาพักน้ำเสีย 2 ชม. ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน โดยแผนการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.4

การทดลองที่ 2 ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบและการเปลี่ยนแปลงลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละถังปฏิกรณ์ เมื่อทำการเติมสาร trace element (แคลเซียมและโคบอลต์) โดยอัตราส่วนซีโอดีน้ำเข้าต่อแคลเซียมต่อโคบอลต์ที่เติมประมาณ 100: 0.3: 0.008 ภายหลังจากเริ่มต้นระบบไปแล้วเป็นเวลา 120 วัน ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน โดยแผนการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.5

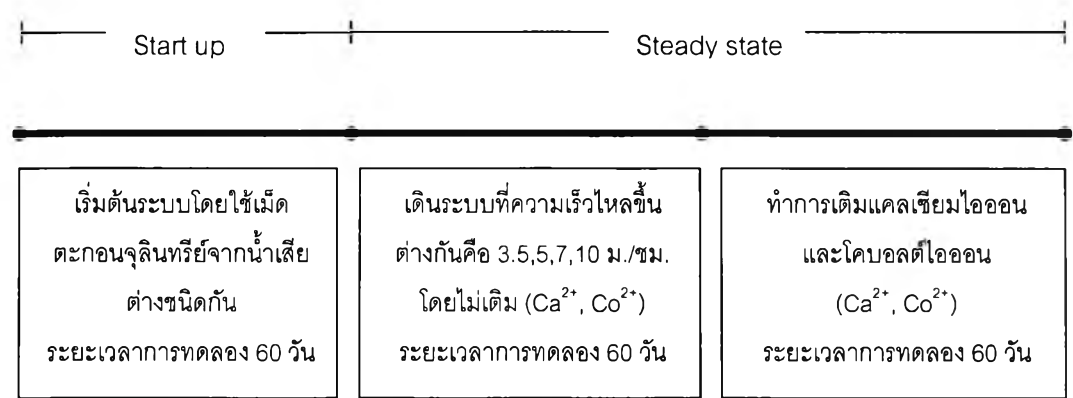
ตารางที่ 3.4 แผนการทดลองที่ 1

ทดลองช่วงที่/ ถังปฏิกรณ์ที่	ตะกอน จุลินทรีย์	เวลาพักน้ำ (ชม.)	ความเร็ว ไหลชั้น (ม./ชม.)	อัตราการสูบ น้ำเสีย (ลิตร/วัน)	อัตราการสูบ น้ำเสียหมุนเวียน (ลิตร/วัน)
1/1	A	2	3.5	255	459
1/2	B	2	3.5	255	459
1/3	A	2	7	255	1173
1/4	B	2	7	255	1173
2/1	A	2	5	255	765
2/2	B	2	5	255	765
2/3	A	2	10	255	1784
2/4	B	2	10	255	1784

ตารางที่ 3.5 แผนการทดลองที่ 2

ถังปฏิกรณ์ ที่	ตะกอนจุลินทรีย์	เวลาพักน้ำ (ชม.)	ความเร็วไหลชั้น (ม./ชม.)	การเติมโคบอลต์ และแคลเซียม
1	A	2	5	เติม
2	B	2	5	เติม
3	A	2	10	เติม
4	B	2	10	เติม

โดยจุดประสงค์การเติมแคลเซียมไอออนคือ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์(Hulshoff Pol et al.,1983) ส่วนโคบอลต์ไอออนเติมเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของเม็ดตะกอน เช่น ความสามารถจำเพาะในการผลิตมีเทน(Specific methanogenic activity, SMA) (ณรงค์ศักดิ์ ธิติธัญญานนท์,2539) เป็นต้นโดยเติมในรูป[CaCl<sub>2</sub> และ CoCl<sub>2</sub>] ในอัตราส่วนซีไอดีต่อแคลเซียมต่อโคบอลต์ที่เติมประมาณ 100: 0.3: 0.008



รูปที่ 3.2 สรุปแผนการทดลองของงานวิจัย

### 3.2 การเตรียมน้ำเสีย

#### 3.2.1 ส่วนประกอบน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยนี้ใช้น้ำเสียจากถังพักน้ำเสียจากอาคารเรียน 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งรับน้ำเสียรวมจากห้องน้ำทั้งหมดในอาคาร และทำการเตรียมน้ำเสียไว้ในถังพักน้ำเสียของระบบอจีเอสปีทุกวัน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเสียเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากการถูกแบคทีเรียในถังย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยแต่ละครั้งลักษณะสมบัติของน้ำเสียทั้งทางเคมี และชีวภาพไม่แตกต่างกันมากนัก ดังสรุปช่วงพารามิเตอร์ต่างของน้ำเสียในตารางที่ 3.6 พบว่ามีธาตุอาหาร ได้แก่ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่มากพอจึงไม่จำเป็นต้องปรับแต่งคุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

#### 3.2.2 วิธีการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

การเตรียมน้ำเสียในแต่ละวัน โดยการเตรียมน้ำเสียในถังพลาสติกขนาด 500ลิตรและทำความสะอาดเศษตะกอนบริเวณก้นถังพักน้ำเสียประมาณ 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของน้ำเสียชุมชนจากอาคารเรียนที่ใช้ในการวิจัย

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วงเริ่มต้นระบบ	ช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว	
			การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2
ซีไอดี	มก./ล.	101 - 169	112 - 196	135 - 196
บีไอดี 5 วัน	มก./ล.	-	76 - 89	76 - 98
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	46 - 64	47 - 67	50 - 69
พีเอช	-	7.2 - 7.8	7.3 - 7.7	7.3 - 7.6
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล.หินปูน	249 - 295	253 - 295	251 - 293
กรดไขมันระเหย	มก./ล.กรดอะซิติก	57 - 86	57 - 86	62 - 88
ทีเคเอ็น	มก./ล.	-	54 - 74	5 - 78

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

#### 3.3.1 ถังพักน้ำเสีย

- 4.3.1.1 ถังพักน้ำเสีย ใช้ถังพลาสติกขนาด 500 ลิตร 2 ชุด
- 4.3.1.2 ถังพักน้ำทิ้ง ใช้ถังพลาสติกขนาด 30 ลิตร 3 ชุด
- 4.3.1.3 ถังพักน้ำเวียนจากระบบ ใช้ถังพลาสติกขนาด 60 ลิตร 3 ชุด

#### 3.3.2 เครื่องสูบน้ำ

ถังปฏิกรณ์อีซีเอสบี 1 ชุดจะประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำ 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 1 ตัว และเครื่องสูบน้ำเสียเวียนกลับเข้าระบบ 1 ตัว โดยน้ำเสียจะถูกสูบเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องจากถังพักน้ำเสียไปยังทางเข้าของถังปฏิกรณ์อีซีเอสบีที่อยู่ด้านล่างของระบบ ในขณะเดียวกันที่ทางเข้าจุดเดียวกันนี้ ก็มีน้ำเสียที่ถูกสูบโดยเครื่องสูบน้ำหอยโข่งเพื่อเวียนกลับน้ำเสียมาเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำหน้าที่เพิ่มความเร็วไหลขึ้น ในถังปฏิกรณ์

#### 3.3.3 ถังปฏิกรณ์อีซีเอสบี

ใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 21.5 ลิตร เป็นท่ออะคลิลิคใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 104 มม. จำนวน 4 ชุด ประกอบด้วยส่วนย่อยสลายสูง 2.50 ม. และส่วนตกตะกอนซึ่งเป็นอุปกรณ์ทำจากท่อพีวีซีสูง 0.25 ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 ม. ส่วนตกตะกอนและส่วนย่อยสลายถูกแยกด้วยชุดแยกตะกอน (Gas-Solid separator, GSS) ซึ่งทำจากกรวยพลาสติกดัดปลาย และทำการติดตั้งส่วนตกตะกอน และติดตั้งวาล์วเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนข้างถังปฏิกรณ์ตามความสูงจำนวน 6 ตำแหน่ง ดังรายละเอียดในภาพที่ 3.3

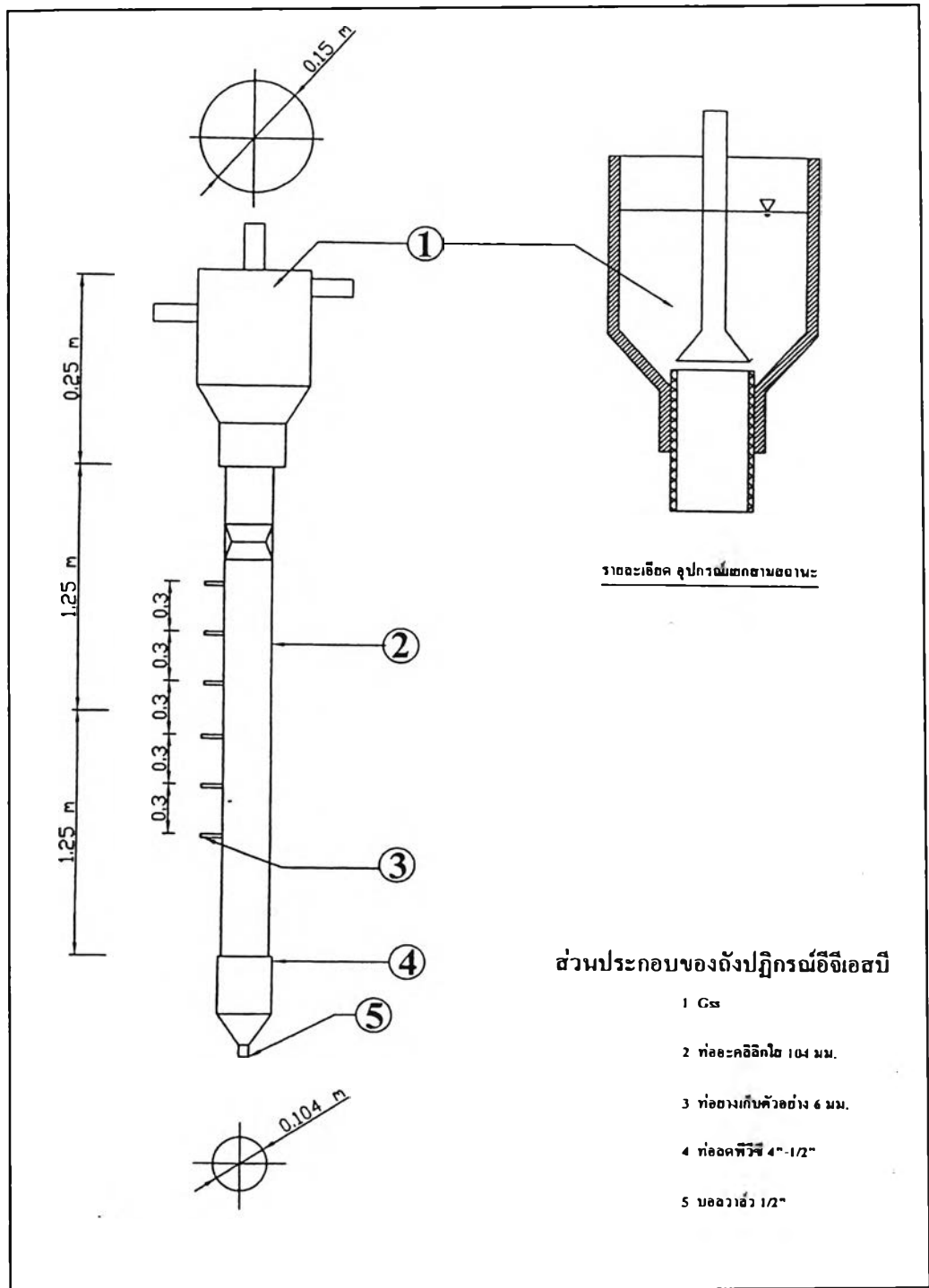
### 3.3.4 อุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำ

อุปกรณ์วัดก๊าซมีจำนวน 4 ชุด ทำงานโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ ปรับพีเอชให้ต่ำกว่า 3 เพื่อป้องกันการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปริมาตรก๊าซที่วัดได้คือปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบ (มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน) ทำการวัดอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง โดยหลังเก็บข้อมูลแล้วจะทำการปล่อยก๊าซออกจากเครื่องมือก่อนทำการวัดครั้งต่อไป

## 3.4 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน

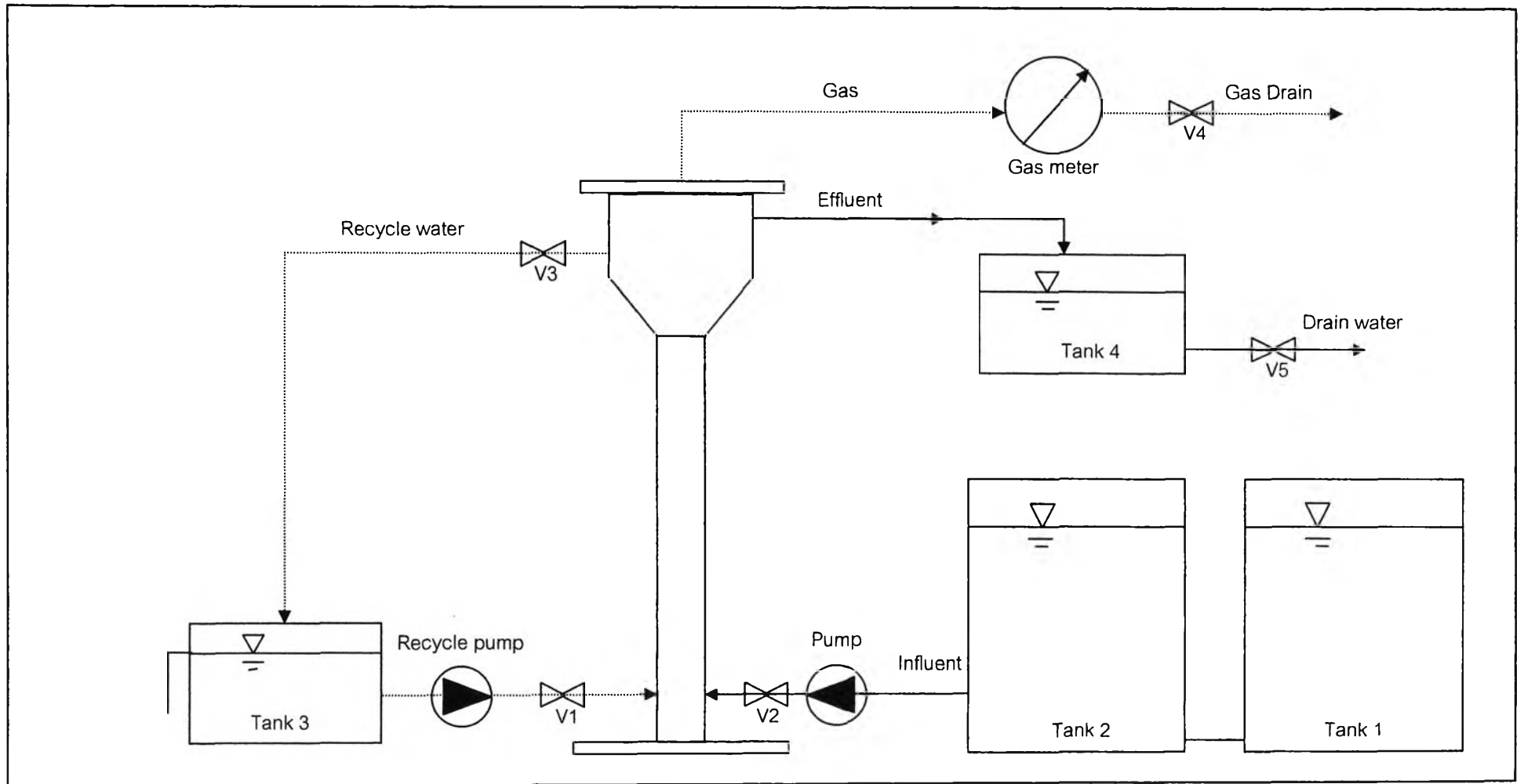
การติดตั้งเครื่องเป็นดังรูปที่ 3.4 โดยมีหลักการทำงานดังนี้

- 3.4.1 เครื่องสูบน้ำ P1 สูบน้ำเสียจากถังพักน้ำเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี และเครื่องสูบน้ำ P2 จะสูบน้ำเวียนกลับมายังทางเข้าที่จุดเดียวกัน
- 3.4.2 น้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีจะไหลลงต่อไปยังถังพักน้ำทิ้ง ส่วน
- 3.4.3 ก๊าซจากระบบจะไหลผ่านชุดตกตะกอน (GSS) ไปยังอุปกรณ์วัดก๊าซ

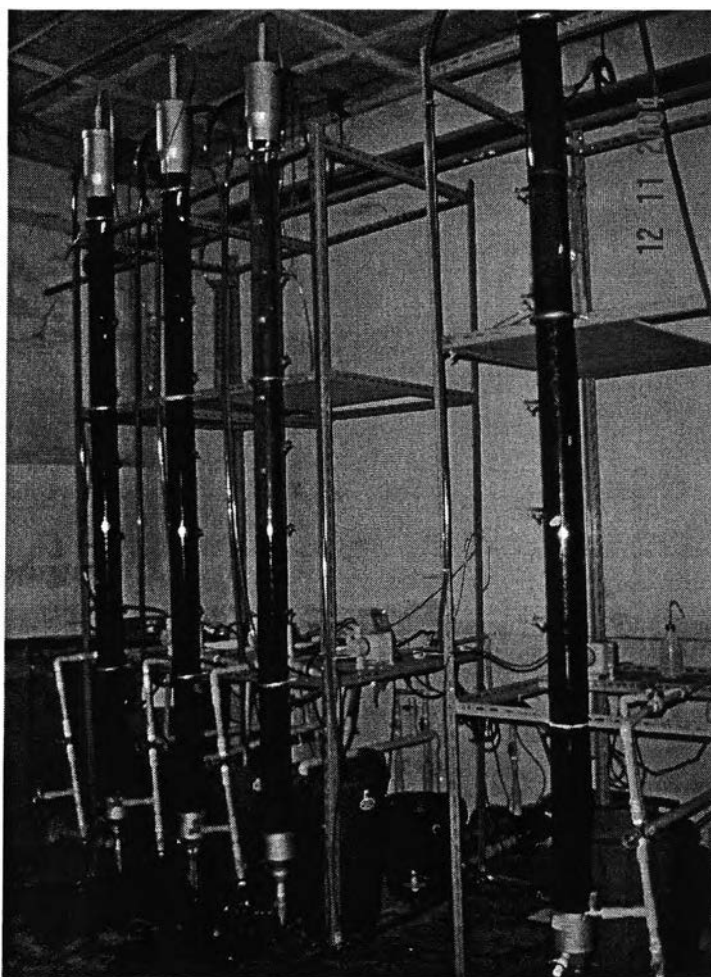


รูปที่ 3.3 ถังปฏิกรณ์อีซีเอสบี

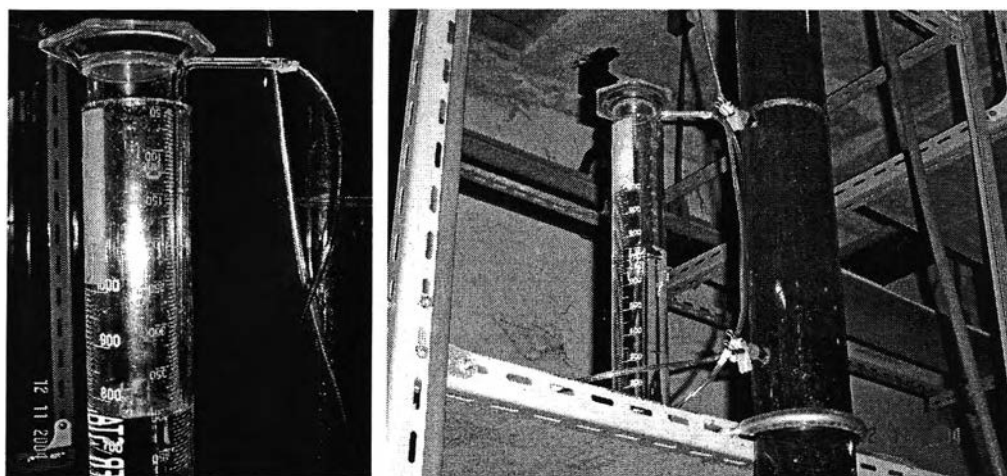




รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของระบบอีจีเอสบี



รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์และการติดตั้งของระบบฮีจีเอสบี



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนทีน้ำ

### 3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ และความถี่ในการเก็บตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ที่วัด และความถี่ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง			
	ทางน้ำเข้า	ทางน้ำออก	ที่วัดก๊าซ	วาล์วเก็บตัวอย่าง
ซีไอดี	A	A	-	-
บีไอดี 5 วัน	B	B	-	-
ของแข็งแขวนลอย	A	A	-	-
กรดไขมันระเหย	A	A	-	-
พีเอช	A	A	-	-
อุณหภูมิ	A	A	-	-
ไออาร์พี	A	A	-	-
สภาพต่างทั้งหมด	A	A	-	-
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	-	C	-
ร้อยละของก๊าซ	-	-	B	-
ทีเคเอ็น	C	C	-	-
ของแข็งแขวนลอยระเหย	-	-	-	E
การกระจายขนาดสลัดจ์	-	-	-	D
โครงสร้างเม็ดสลัดจ์	-	-	-	D
Specific methanogenic activity	-	-	-	E

หมายเหตุ	A	เก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือวันจันทร์ พุธ ศุกร์
	B	เก็บตัวอย่างในขั้น steady state
	C	เก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง
	D	เก็บตัวอย่าง 1 ครั้งต่อ 1 เดือน
	E	เก็บตัวอย่าง 2 ครั้งต่อ 1 เดือน

ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และวิธีการที่ใช้วิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	pH Meter
อุณหภูมิ	Thermometer
โออาร์พี	ORP Meter
ซีไอดี	วิธี Close reflux
บีไอดี 5 วัน	Azide Modification
ของแข็งแขวนลอย	Standard Method
กรดไขมันระเหย	Standard Method
สภาพต่างทั้งหมด	Standard Method
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	วัดปริมาตรแบบแทนที่น้ำ
ทีเคเอ็น	Kjedahl method
การกระจายขนาดสไลด์จ์	Particle Size Analyser
โครงสร้างเม็ดสไลด์จ์	SEM (Scanning Electron Microscope)
Specific methanogenic activity	methanogenic activity test
ร้อยละของก๊าซ	GC (Gas chromatography)